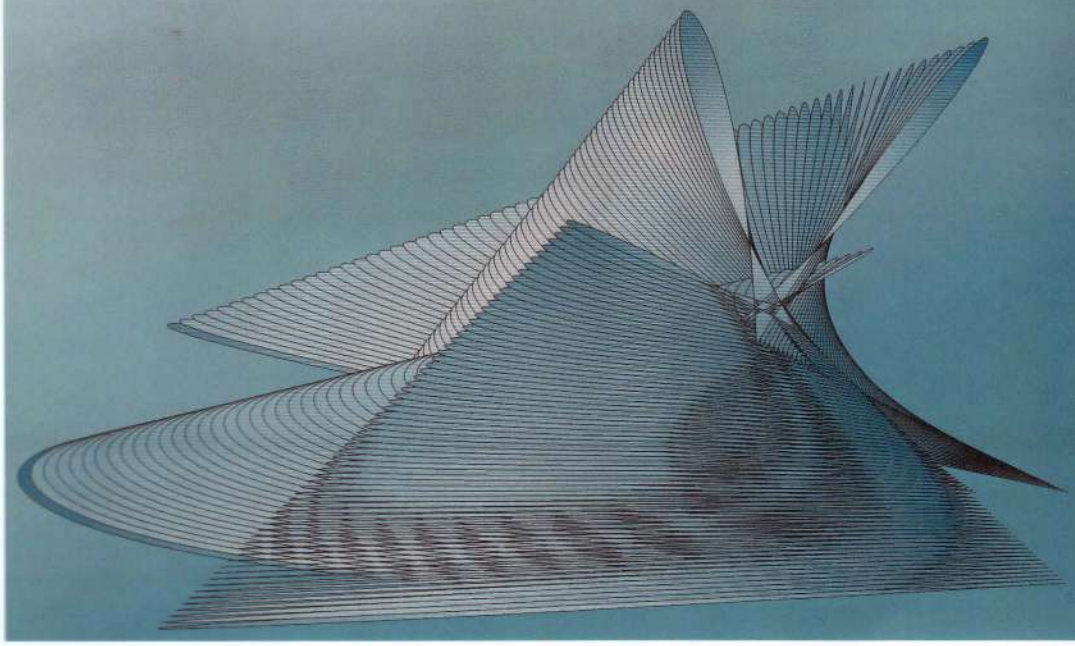
624.014/K64

Carte universitară

HELMUTH KÖBER

CONSTRUCȚIE METALICĂ PARTER ECHIPATĂ CU PODURI RULANTE

îndrumător de proiectare



CONSPRESS BUCUREŞTI

Cuprins

	Pagină
Introducere	1 ÷ 4
Obiectul proiectului	1
Descrierea structurii de rezistență	2
1. Calcul pană curentă acoperiș	5 ÷ 18
1.1. Evaluare încărcări	5
1.2. Calcul solicitări	7
1.3. Dimensionare	9
1.4. Verificări la starea limită de rezistență	12
1.5. Verificări la starea limită de deformație	15
1.6. Dimensionarea joantei de montaj din primul reazem intermediar	16
1.7. Dimensionarea joantei de montaj de pe reazemul curent	17
2. Calcul fermă curentă	19 ÷ 47
2.1. Schemă geometrică fermă	19
2.2. Evaluare încărcări	19
2.3. Calculul eforturilor axiale din barele fermei	20
2.4. Dimensionare bare comprimate	22
2.5. Dimensionare bare întinse	27
2.6. Verificarea stării limită de deformație	31
2.7. Dimensionarea prinderilor cu sudură a diagonalelor și montanților	34
2.8. Amplasarea plăcuțelor de solidarizare	39
2.9. Dimensionarea joantelor de montaj	41
2.10. Verificarea rezemării fermei	45
3. Calcul grindă cale de rulare	48 ÷ 77
3.1. Alcătuire cale de rulare	48
3.2. Schemă constructivă grindă cale de rulare	49
3.3. Solicitări generate de acțiunea podurilor rulante	49
3.4. Evaluarea solicitărilor pentru dimensionarea grinzii căii de rulare	58
3.5. Dimensionare secțiune transversală grindă cale de rulare	59
3.6. Verificări la starea limită de rezistență	61
3.7. Verificarea stabilității locale a inimii grinzii de rulare	65
3.8. Verificare la starea limită de deformație	69
3.9. Verificare la statrea limită de oboseală	72
3.10. Verificarea rezemării tronsonului de grindă	76
4. Calcul stâlp hală	78 ÷ 156
4.1. Evaluare solicitări stâlp hală	78
4.1.1. Schemă statică cadru transversal hală	78
4.1.2. Relații de calcul pentru forța de fixare "R"	82
A. Încărcări permanente acoperiș	83
B. Încărcări permanente cale de rulare	85
C. Încărcări cvasipermanente acoperiș	87
D. Încărcări cvasipermanente cale de rulare	89

E. Încărcăre dată de zăpadă	90
F. Încărcări verticale mari generate de podurile rulante	92
G. Încărcări verticale mici generate de podurile rulante	98
H. Încărcăre orizontală (→) din frânarea cărucioarelor pe stâlpul din axul-A	99
I. Încărcăre orizontală (→) din frânarea cărucioarelor pe stâlpul din axul-B	102
J. Încărcăre orizontală (←) din frânarea cărucioarelor pe stâlpul din axul-A	103
K. Încărcăre orizontală (←) din frânarea cărucioarelor pe stâlpul din axul-B	104
L. Încărcări date de vânt (→)	105
M. Încărcări date de vânt (←)	111
N. Încărcări gravitaționale la nivelul acoperișului în gruparea specială de încărcări	112
O. Încărcări gravitaționale la nivelul căii de rulare în gruparea specială	114
P. Încărcăre seismică de cod (→)	116
Q. Încărcăre seismică de cod (←)	119
4.2. Evaluarea solicitărilor pentru calculul secțiunilor curente ale tronsoanelor	122
4.3. Dimensionarea secțiunilor transversale pentru cele două tronsoane de stâlp	125
4.4. Verificarea secțiunilor transversale	128
4.5. Verificare de rezistență în dreptul golului de trecere	139
4.6. Calculul bazei stâlpului	142
4.7. Calcul fundație stâlp curent	150
5. Calcul portal	157 ÷ 174
5.1. Amplasare	157
5.2. Acțiuni luate în calcul	157
5.3. Alcătuire elemente portal	165
5.4. Dimensionare elementelor portalului	166
6. Calcul contravântuire orizontală transversală	175 ÷ 183
6.1. Schemă de calcul	175
6.2. Evaluarea încărcărilor	176
6.3. Calcul solicitări	179
6.4. Dimensionare diagonale C.O.T.	179
6.5. Dimensionare talpă proprie C.O.T.	181
6.6. Dimensionarea prinderilor cu sudură a barelor C.O.T.	182
7. Anexă	184 ÷ 211
Profile **I** laminate la cald	184
Profile **IPE**	186
Profile **HE-A**	188
Profile **HE-B**	189
Profile **U** laminate la cald	190
Corniere cu aripi egale	192
Țevi rotunde	195
Țevi tubulare pătrate	201
Țevi tubulare dreptunghiulare	203
Încadrarea în curbele de flambaj conform STAS 10108/0-78	206
Coeficienți de flambaj pentru OL 37	207
Coeficienți de flambaj pentru OL 52	208
Formule de calcul pentru coeficienți de flambaj	209
Valori maxim admise pentru săgeți	210
Bibliografie	211

OBIECTUL LUCRĂRII

Se va realiza proiectul structurii metalice de rezistență a unei hale industriale echipate cu poduri rulante. Structura va fi realizată din oțel OL37 în soluție sudată. Hala ce se va proiecta va avea următoarele caracteristici:

- amplasamentul construcției: localitatea Roman, județul Neamț;
- o singură deschidere de 24.00*m* și nouă travei de 11.00*m*;
- structura de rezistență este constituită din cadre transversale plane, compuse din stâlpi încastrați în fundații și rigle prinse articulat pe capetele superioare ale stâlpilor;
- stâlpii vor fi cu secțiune plină; secțiunea stâlpului variază în două trepte;
- riglele de cadru se realizează sub formă de grinzi cu zăbrele (ferme) fixate articulat de stâlpi;
- hala este prevăzută cu două poduri rulante care circulă pe grinzi de rulare; capacitatea de ridicare a cârligului principal al podurilor este de 20*tf* și respective 40*tf*;
- cota ce trebuie asigurată șinei de rulare este de +12.00*m*;
- grinzile căii de rulare sunt alcătuite fiecare din nouă tronsoane calculate ca grinzi simplu rezemate;
- panele de acoperiș vor fi calculate ca grinzi continue cu nouă deschideri;
- grinzile căii de rulare și panele acoperișului sunt alcătuite cu secțiune plină;
- învelitoarea este din tablă cutată și este izolată termic;
- hala are iluminare perimetrală naturală;
- terenul bun de fundare este la -3.8*m*, cota ± 0.00 fiind considerată la nivelul pardoselii finite; presiunea de calcul este de $0.3 N/mm^2$;

La alcătuirea și calculul halei se vor respecta prevederile STAS 10108/0-78.

DESCRIEREA STRUCTURII DE REZISTENTA

Alegerea unui anumite soluții constructive este condiționată de considerente economice, funcționale şi legate de terenul de fundare.

Elementul principal al structurii de rezistență al unei construcții metalice parter echipate cu poduri rulante îl reprezintă cadrul transversal, format din stâlpi ancorați în fundații de beton şi rigle legate rigid sau articulat de stâlpi. În soluția analizată cadrul transversal este alcătuit din rigle realizate ca grinzi cu zăbrele (ferme) fixate articulat de stâlpi alcătuiți cu secțiune plină.

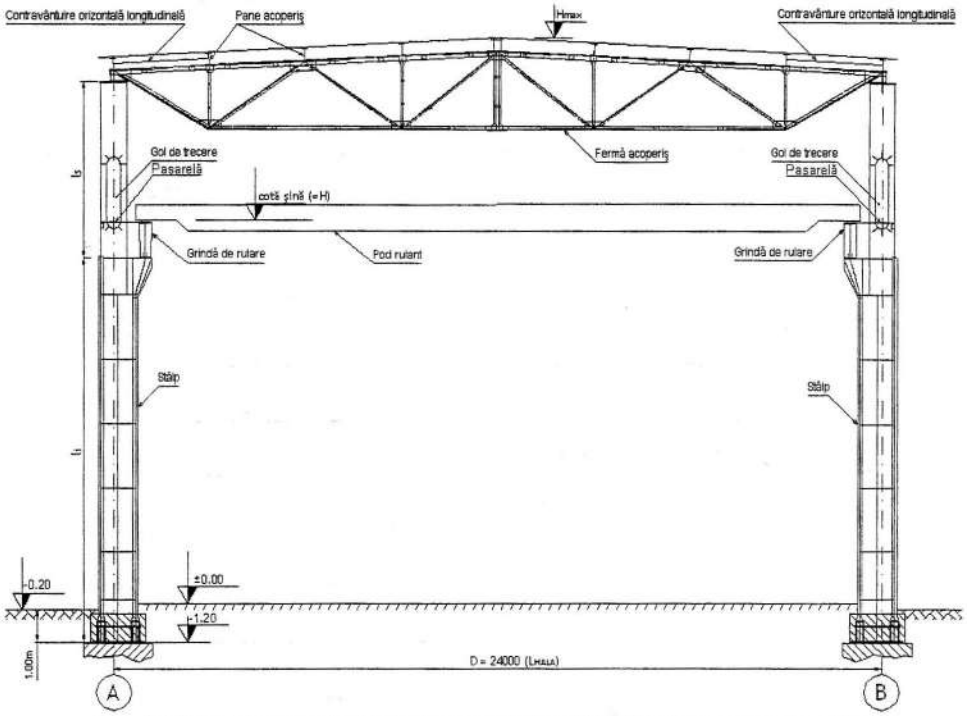


Fig. 1: Schemă constructivă cadru transversal (l_s = lungime tronson superior stâlp; l_i = lungime tronson inferior stâlp)

Ca urmare a echipării construcției cu poduri rulante, stâlpul se alcătuieşte cu secțiune variabilă, tronsonul inferior fiind mai dezvoltat decât tronsonul superior. Tronsonul inferior poate fi realizat cu secțiune cu inimă plină sau cu secțiune compusă din două ramuri solidarizate cu zăbrele. Tronsonul superior se alcătuieşte de regulă cu secțiune cu inimă plină. În tronsonul superior se prevede un gol de trecere care permite circulația dintr-o travee în alta la nivelul căii de rulare.

Stâlpii preiau şi transmit la fundații acțiunile verticale şi orizontale din planul cadrului transversal. Stâlpii de portal împreună cu elementele portalului transmit la fundații acțiunile orizontale din planul cadrului longitudinal.

Încastrarea stâlpului în fundație se realizează cu buloane de ancoraj. Pe direcție longitudinală legătura stâlpului în fundație este considerată ca fiind o legătură articulată din cauza brațului de pârghie mic al buloanelor de ancoraj.

Capetele superioare ale stâlpilor sunt legate cu o bară longitudinală. De regulă legătura dintre grinda longitudinală şi stâlp este o legătură articulată.

Introducere

Pentru preluarea forţelor orizontale longitudinale pe şirurile de stâlpi se prevăd contravântuiri verticale. Acestea se numesc portale şi se amplasează pe cât posibil în traveea centrală pentru a nu împiedica dezvoltarea deformaţiilor cauzate în elementele structurale longitudinale de variaţiile de temperatură. Încărcările preluate de portal sunt: frânarea/demararea podurilor rulante, izbirea podurilor în opritoare, încărcările cauzate de acţiunea vântului în lungul halei (presiune/sucţiune pe pereţii de fronton, antrenare în lungul acoperişului şi a pereţilor laterali), încărcările din acţiunea seismică ce se manifestă în lungul halei.

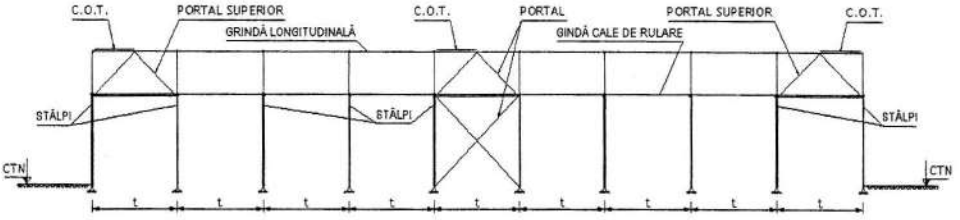


Fig. 2: Schemă constructivă cadru longitudinal

În traveile de capăt se introduc portale parţiale (portale superioare), denumite portale de vânt. Portalul superior preia de la contravântuirea transversală a acoperişului reacţiunile generate de acţiunea vântului, care apoi ajung prin intermediul grinzii căii de rulare la portal.

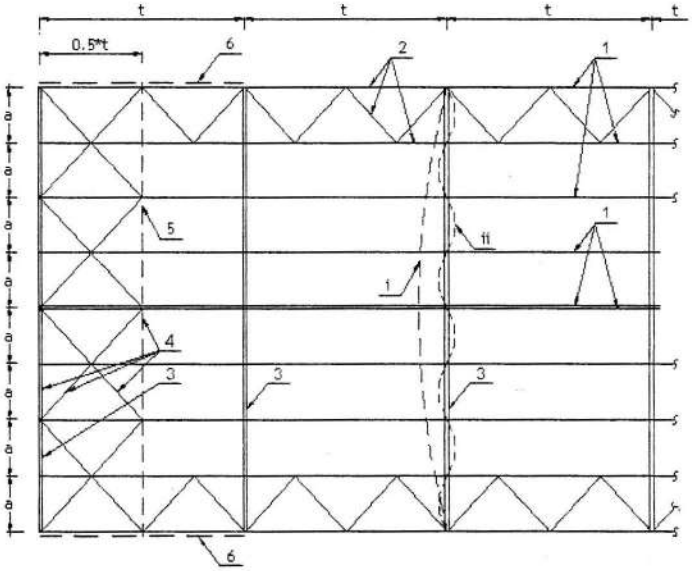


Fig. 3: Schemă constructivă acoperiş

unde:
1 – pane de acoperiş;
2 – contravântuire orizontală longitudinală (C.O.L.);
3 – talpă superioară fermă (element stabilizat de către C.O.T.);
4 – contravântuire orizontală transversală (C.O.T.) – element stabilizator;
5 – talpa contravântuirii orizontale transversale;
6 – portal superior;
i – lungime de flambaj talpă superioară fermă în absenţa structurii stabilizatoare;
ii – lungime de flambaj talpă superioară fermă în prezenţa structurii stabilizatoare (C.O.T.).

Introducere

Funcţiunile contravântuirii orizontale transversale (C.O.T.):

- preia încărcările orizontale longitudinale din planul acoperişului (o parte din acţiunea directă a vântului pe pereţii de fronton, antrenarea vântului în lungul acoperişului);
- asigură prin intermediul panelor legături laterale pentru tălpile superioare ale fermelor prin blocarea deplasării longitudinale a panelor;
- formează împreună cu contravântuirea orizontală longitudinală un cadru orizontal rigid care împreună cu învelitoarea din tablă cutată conferă rigiditate la torsiune şarpantei acoperişului.

Funcţiunile contravântuirii orizontale longitudinale (C.O.L.):

- preia încărcările transversale din planul acoperişului (acţiunea normală a vântului de pe peretele lateral de închidere, componenta din planul învelitorii a încărcărilor gravitaţionale);
- asigură împreună cu grinda de frânare conlucrarea spaţială a cadrelor transversale;
- formează împreună cu contravântuirea orizontală transversală un cadru orizontal rigid care împreună cu învelitoarea din tablă cutată conferă rigiditate la torsiune şarpantei acoperişului.

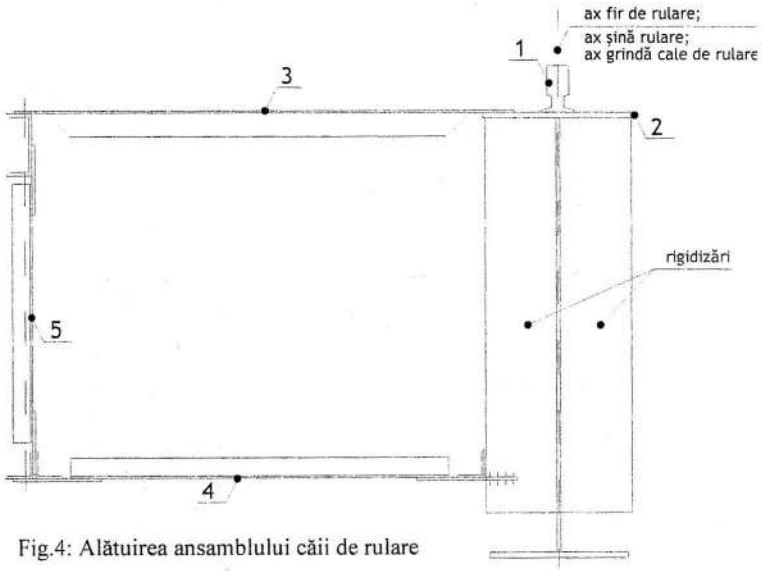


Fig.4: Alătuirea ansamblului căii de rulare

Au fost folosite notaţiile:

1 – şina de rulare (pe care circulă podurile rulante);

2 – grinda de rulare – element structural care preia toate încărcările verticale şi longitudinale generate de acţiunea podurilor rulante şi le transmite mai departe la stâlpii de cadru (încărcări verticale), respectiv la portal (încărcări longitudinale);

3 – grinda de frânare – preia încărcările transversale produse de frânarea şi demararea cărucioarelor rulante; îndeplineşte şi funcţiunea de pasarelă de circulaţie pentru personalul de întreţinere; joacă un rol important în conlucrarea spaţială a cadrelor transversale;

4 – contravântuire orizontală – constituie o legătură orizontală transversală la talpa inferioară a grinzii de rulare limitând vibraţiile acesteia produse de circulaţia podurilor şi poate fi folosită ca reazem intermediar pentru stâlpii de închidere ce susţin pereţii laterali;

5 – grinda secundară – susţine pasarela.

Cele patru grinzi (grinda de rulare, grinda de frânare, contravântuirea orizontală şi grinda secundară) alcătuiesc un element cu secţiune închisă cu rigiditate ridicată la răsucire.

Observaţie: În cazul podurilor rulante cu capacitate redusă de ridicare şi regime de lucru uşor şi mediu se poate renunţa la grinda secundară şi la contravântuirea orizontală.

1.CALCUL PANĂ CURENTĂ ACOPERIȘ

1.1. EVALUARE ÎNCĂRCĂRI

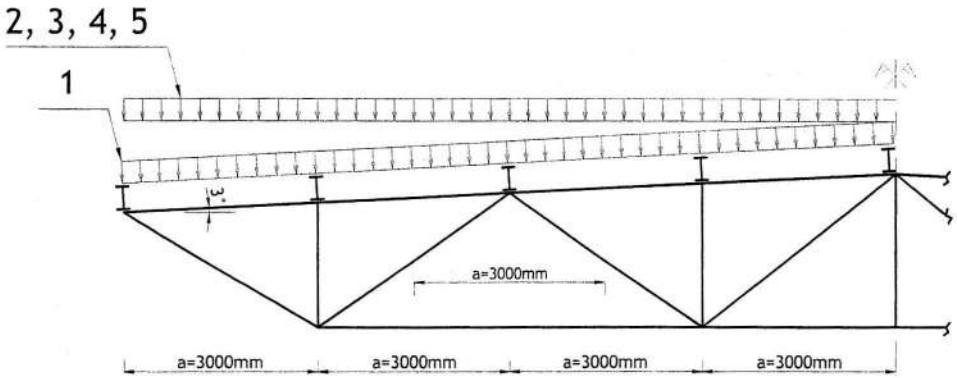


Fig.1.1. Schemă evaluare încărcări

Nr.crt.	ÎNCĂRCARE	TIP	VALORI NORMATE $[kN/m^2]$	n_i	VALORI DE CALCUL $[kN/m^2]$
1	-greutate proprie învelitoare	(P)	0.50	1.1	0.55
2	-greutate proprie pane+contrav.	(P)	0.20	1.1	0.22
3	-spațiu tehnic	(C)	0.20	1.2	0.24
4	-praf industrial	(C)	0.25	1.2	0.30
5	-zăpada	(V)	p_z^0	-	p_z^F

Evaluarea încărcării date de zăpadă:

- Intensitatea normată a încărcării date de zăpadă:

$$p_z^n = c_{zi} \cdot c_e \cdot g_z \; [kN/m^2]$$

unde : g_z – greutatea stratului de referință; pentru zona C se obține $g_z = 1.5$ kN/m^2;
c_{zi} – coeficient prin care se ține seama de aglomerarea cu zăpadă pe suprafața acoperișului; pentru acoperișuri plane sau puțin înclinate $c_{zi} = 1.0$;
c_e – coeficient ce ține seama de condițiile de expunere ale construcției; pentru condiții normale de expunere $c_e = 0.8$;

prin urmare, $p_z^n = 1.0 \cdot 0.8 \cdot 1.5 = 1.20 kN/m^2$

Cap. 1 Calcul pană curentă acoperiș

- Intensitatea de calcul a încărcării date de zăpadă pentru verificări la S.L.E.N (stări limită a exploatării normale) sub încărcări în gruparea fundamentală:

$$\boxed{p_z^{\,0} = \gamma_0 \cdot p_z^{\,n}\,[kN/m^2]}$$

unde: $\gamma_0 = \gamma_C - 0.2 \cdot \dfrac{g_p}{c_e \cdot g_z} \geq 0.3 \cdot \gamma_C$; $\gamma_C = 1.4$;

g_p – suma intensităților normate a încărcărilor verticale ce acționează asupra elementului verificat, cu excepția zăpezii(încărcarea distribuită echivalentă, determinată pe baza intensităților normate ale încărcărilor verticale, care afectează elementele expuse şi intervin în grupări fundamentale);

$$g_p = \frac{0.50}{0.99875} + 0.20 + 0.20 + 0.25 = 1.1506 kN/m^2;$$

$$\gamma_0 = 1.4 - 0.2 \cdot \frac{1.1506}{0.8 \cdot 1.5} = 1.208 \Rightarrow p_z^{\,0} = 1.208 \times 1.20 = 1.4496 kN/m^2;$$

γ_0 – coeficient parțial de siguranță pentru verificări de S.L.U. sub încărcări din gruparea fundamentală

- Intensitatea de calcul a încărcării date de zăpadă pentru verificări la S.L.U. (stări limită ultime) sub încărcări în gruparea fundamentală:

$$\boxed{p_z^{\,F} = \gamma_F \cdot p_z^{\,n}\,[kN/m^2]}$$

unde: $\gamma_F = \gamma_a - 0.4 \cdot \dfrac{g_p}{c_e \cdot g_z} \geq 0.3 \cdot \gamma_a$; $\gamma_a = 2.2$;

$$\gamma_F = 2.2 - 0.4 \cdot \frac{1.1506}{0.8 \cdot 1.5} = 1.816 \Rightarrow p_z^{\,F} = 1.816 \cdot 1.20 = 2.179 kN/m^2;$$

γ_F – coeficient parțial de siguranță pentru verificări de S.L.U. sub încărcări din gruparea fundamentală

- Încărcările pe m^2 de suprafață orizontală sunt:

$$g^n = \frac{0.50}{0.99875} + 0.20 + 0.20 + 0.25 + 1.4496 = 2.6002 = 2.6 kN/m^2;$$

$$g = \frac{0.55}{0.99875} + 0.22 + 0.24 + 0.30 + 2.179 = 3.4897 = 3.49 kN/m^2;$$

unde: α_0 – panta acoperișului (unghiul făcut de talpa superioară a fermei cu orizontala);

$\alpha_0 = 3^0$ şi $\cos\alpha_0 = 0.99875$

- Încărcările verticale pe metru liniar de suprafață sunt:

$$p^n = g^n \cdot a = 2.6 kN/m^2 \cdot 3m = 7.80 kN/m$$

$$p = g \cdot a = 3.49 kN/m^2 \cdot 3m = 10.47 kN/m$$

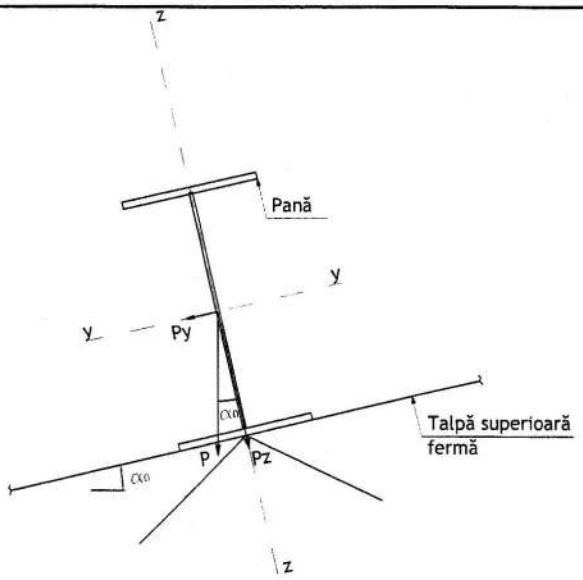


Fig.1.2. Distribuția încărcărilor pe secțiunea panei

unde: p_z – încărcarea preluată de pană;

$p_z = p \cdot \cos\alpha_0 = 10.4691kN/m \cdot 0.99875 = 10.46kN/m$

p_y – încărcarea preluată de C.O.L. (transmisă la C.O.L. prin intermediul învelitorii din tablă cutată);

$p_z^n = p^n \cdot \cos\alpha_0 = 7.8kN/m \cdot 0.99875 = 7.79kN/m$

1.2.CALCUL SOLICITĂRI

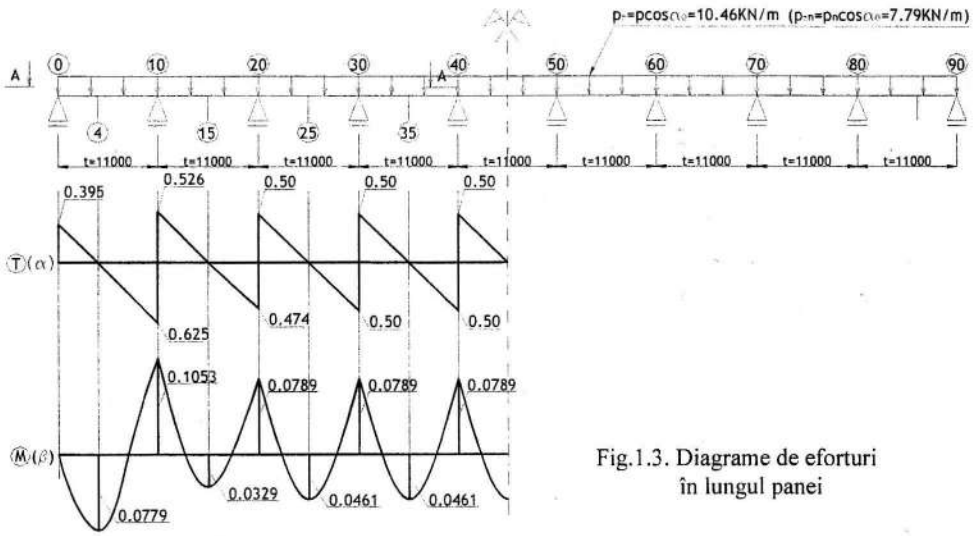


Fig.1.3. Diagrame de eforturi în lungul panei

$T = \alpha \cdot p_z \cdot t \ [kN]$

$M = \beta \cdot p_z \cdot t^2 \ [kNm]$

Observaţie: Datorită faptului că valorile momentelor încovoietoare variază foarte mult în lungul panei (de la $0.0329 \cdot p_z \cdot t^2$ la $0.1053 \cdot p_z \cdot t^2$) nu ar fi economic să se dimensioneze pana la momentul încovoietor maxim şi să se utilizeze o singură secţiune în lungul acesteia. Prin urmare se va varia secţiunea panei în lungul ei în vederea reducerii consumului de material.

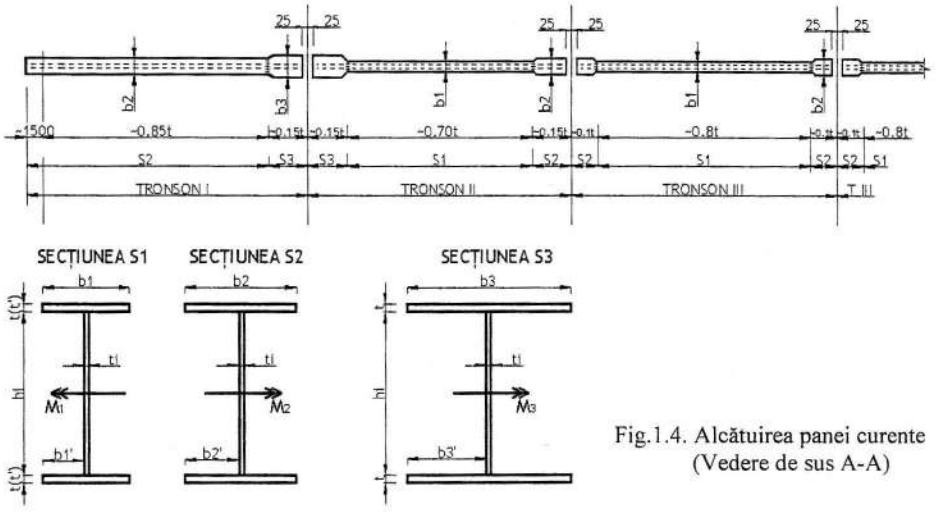


Fig.1.4. Alcătuirea panei curente (Vedere de sus A-A)

$80 \le b_1 < b_2 < b_3;\ t' \le t$

$M_3 = 0.1053 \cdot p_z \cdot t^2 = 0.1053 \cdot 10.456 \cdot 11^2 = 133.22 kNm;$

$M_2 = 0.0789 \cdot p_z \cdot t^2 = 0.0789 \cdot 10.456 \cdot 11^2 = 99.82 kNm;$

$M_1 = 0.0461 \cdot p_z \cdot t^2 = 0.0461 \cdot 10.456 \cdot 11^2 = 58.32 kNm.$

Observaţii:

1. Cu momentul M_3 se dimensionează secţiunile panei în vecinătatea primului reazem intermediar (Secţiunea **S3**);

2. Cu momentul M_2 se dimensionează secţiunile panei din vecinătatea reazemelor intermediare curente şi din primul câmp (Secţiunea **S2**);

3. Cu momentul M_1 se dimensionează secţiunile panei din câmpurile curente (Secţiunea **S1**);

4. Se urmăreşte pe cât posibil ca toate cele trei secţiuni să aibă aceeaşi înălţime.
În acest sens:
- inima va avea aceeaşi alcătuire (aceeaşi grosime şi înălţime) pentru toate cele trei secţiuni;
- se va încerca utilizarea aceleiaşi grosimi de tablă pentru tălpile celor trei secţiuni. Secţiunile **S3** şi **S2** care apar în dreptul reazemelor panelor vor avea aceeaşi grosime t, iar secţiunea **S1** va avea o grosime $t' \le t$.

Datorită rezemării panourilor de învelitoare se impune constructiv o lăţime minimă de $80mm$ pentru tălpile panelor.

1.3. DIMENSIONARE

1.3.1. DIMENSIONARE SECŢIUNE INIMĂ $(h_i \times t_i)$

1^0 Se calculează un moment mediu ponderat:

$$M^* = \frac{M_1(0.7\cdot t\times 2+0.8\cdot t)+M_2[(1.5m+0.85\cdot t)\times 2+0.15\cdot t\times 2+0.2\cdot t\times 5]+M_3(0.15\cdot t\times 2\times 2)}{9\times t+2\times 1.5m}$$

$$M^* = \frac{7936.98}{102} = 77.81kNm;$$

2^0 Se stabileşte modulul de rezistenţă necesar pentru M*:

$$W_{nec}{}^* = \frac{M^*}{R}; R = 220N/mm^2 (OL37)$$

$$W_{nec}{}^* = \frac{77.81}{220}\cdot 10^6 = 353681.82mm^3;$$

3^0 Se propune o grosime pentru inima panei: $t_i \in \{3;4;5\}$

Se alege $t_i = 4mm$;

4^0 Se apreciază înălţimea optimă a panei:

$$h_i^{OPTIM} = 1.15\sqrt{\frac{W_{nec}{}^*}{t_i}} = 1.15\cdot\sqrt{\frac{353681.82}{4}} = 341.96mm \Rightarrow h_i^{OPTIM} = 350mm;$$

5^0 Se verifică suplеţea inimii:

Se recomandă: $\boxed{70 \le \frac{h_i}{t_i} \le 100}$

$$70 \le \frac{h_i}{t_i} \le 100 \Leftrightarrow 70 \le \frac{350}{4} \le 100 \Leftrightarrow 70 \le 87.5 \le 100$$

Dacă $\frac{h_i}{t_i} < 70$ se revine la punctul 3^0 şi se propune o grosime t_i mai mică.

Dacă $\frac{h_i}{t_i} > 100$ se revine la punctul 3^0 şi se propune o grosime t_i mai mare.

Observaţie: Dacă t_i a fost propusă cu grosimea minimă acceptată, raportul h_i/t_i se acceptă cu valori mici de 70.

1.3.2. DIMENSIONARE TĂLPI SECŢIUNE ⟨3⟩ $(b_3 \times t)$

6^0 Se calculează valoarea modulului de rezistenţă necesar:

$$W_{\langle 3\rangle}{}^{nec} = \frac{M_3}{R}; R = 220N/mm^2 (OL37);$$

$$W_{\langle 3\rangle}{}^{nec} = \frac{133.22}{220}\cdot 10^6 = 605545.45mm^3;$$

7^0 Se determină aria necesară a tălpilor:

$$A_{t\langle 3\rangle}{}^{nec} = \frac{W_{\langle 3\rangle}{}^{nec}}{h_i} - 0.16\cdot h_i \cdot t_i;$$

$$A_{t\langle 3\rangle}{}^{nec} = \frac{605545.45}{350} - 0.16\cdot 350\cdot 4 = 1506.13mm^2;$$

8^0 Se propune grosimea tălpior t astfel încât $1.5 \cdot t_i \le t \le 2.5 \cdot t_i$; $t \in \{5;6;7;8;9;10\}$

$1.5 \cdot t_i = 6mm$; $2.5 \cdot t_i = 10mm$; Propun $t = 7mm$;

9^0 Se stabileşte lăţimea tălpilor

$$b_3^{nec} = \frac{A_{t\langle 3\rangle}^{nec}}{t};$$

$$b_3^{nec} = \frac{1506.13}{7} = 215.16mm \Rightarrow b_3 = 220mm;$$

10^0 Se verifică supleţea tălpii:

$$b_3' = \frac{b_3 - t_i}{2}; \frac{b_3'}{t} \le 15;$$

$$b_3' = \frac{220-4}{2} = 108; \frac{108}{7} = 15.4 > 15 \Rightarrow$$ se revine la pasul 8^0 şi se propune altă valoare pentru t;

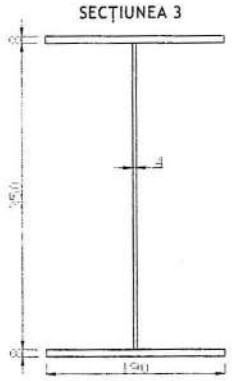
8^0 Propun $t = 8mm$;

9^0 $b_3^{nec} = \frac{1506.13}{8} = 188.27mm \Rightarrow b_3 = 190mm$;

10^0 $b_3' = \frac{190-4}{2} = 93; \frac{93}{8} = 11.63 < 15 \Rightarrow$ t = 8mm şi b_3 = 190mm;

Observaţie:

Se recomandă folosirea grosimii celei mai mici pentru talpă care satisface condiţia de supleţe: $\frac{b_3'}{t} \le 15$.



1.3.3. DIMENSIONARE TĂLPI SECŢIUNE $\langle 2\rangle$ $(b_2 \times t)$

11^0 $W_{\langle 2\rangle}^{nec} = \frac{M_2}{R}; R = 220N/mm^2 (OL37);$

$$W_{\langle 2\rangle}^{nec} = \frac{99.82 \cdot 10^6}{220} = 453727.27mm^3;$$

12^0 $A_{t\langle 2\rangle}^{nec} = \frac{W_{\langle 2\rangle}^{nec}}{h_i} - 0.16 \cdot h_i \cdot t_i;$

$$A_{t\langle 2\rangle}^{nec} = \frac{453727}{350} - 0.16 \cdot 350 \cdot 4 = 1072.36mm^2;$$

13^0 Observație: Pentru secțiunea **S2** se propune aceeași grosime de talpă, t ca și pentru secțiunea **S3**;

$$b_2^{nec} = \frac{A_{t\langle 2\rangle}^{nec}}{t};$$

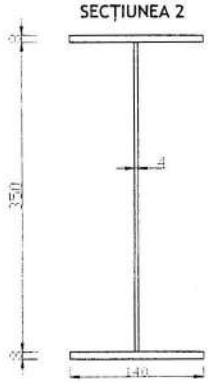
$$b_2^{nec} = \frac{1072.36}{8} = 134.05mm \Rightarrow b_2 = 140mm;$$

14^0 Se verifică suplețea tălpii:

$$b_2' = \frac{b_2 - t_i}{2}; \frac{b_2'}{t} \le 15;$$

$$b_2' = \frac{140-4}{2} = 68; \frac{68}{8} = 8.5 < 15 \Rightarrow t = 8mm \text{ și } b_2 = 140mm;$$

SECȚIUNEA 2



1.3.4. DIMENSIONARE TĂLPI SECȚIUNE $\langle 1\rangle$ $(b_1 \times t')$

15^0 $W_{\langle 1\rangle}^{nec} = \frac{M_1}{R}; R = 220N/mm^2 (OL37);$

$$W_{\langle 1\rangle}^{nec} = \frac{58.32 \cdot 10^6}{220} = 265090.91mm^3;$$

16^0 $A_{t\langle 1\rangle}^{nec} = \frac{W_{\langle 1\rangle}^{nec}}{h_i} - 0.16 \cdot h_i \cdot t_i;$

$$A_{t\langle 1\rangle}^{nec} = \frac{265090.91}{350} - 0.16 \cdot 350 \cdot 4 = 533.40mm^2;$$

17^0 Se propune inițial aceeași grosime ca pentru tălpile celorlalte secțiuni dimensionate anterior.

Propun $t' = t$

18^0 $b_1^{nec} = \frac{A_{t\langle 1\rangle}^{nec}}{t};$

$$b_1^{nec} = \frac{533.40}{8} = 66.68mm \Rightarrow b_1 = 70mm < 80mm \Rightarrow \text{se revine la pasul } 17^0$$

17^0 Propun $t' = 7mm;$

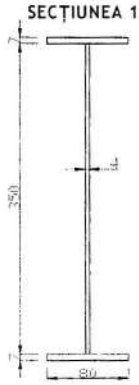
18^0 $b_1^{nec} = \frac{A_{t\langle 1\rangle}^{nec}}{t};$

$$b_1^{nec} = \frac{533.40}{7} = 76.2mm \Rightarrow b_1 = 80mm$$

19^0 Se verifică suplețea tălpii:

$$b_1' = \frac{b_1 - t_i}{2}; \frac{b_1'}{t} \leq 15;$$

$$b_1' = \frac{80-4}{2} = 38; \frac{38}{7} = 5.43 < 15 \Rightarrow t' = 7mm \text{ şi } b_1 = 80mm;$$



1.4.VERIFICĂRI LA STAREA LIMITĂ DE REZISTENȚĂ (S.L.U.)

Observație: Pentru aceste verificări se vor folosi încărcări cu valori de calcul.

1.4.1. VERIFICAREA SECȚIUNII S1 (SECȚIUNEA DE CÂMP CURENT)

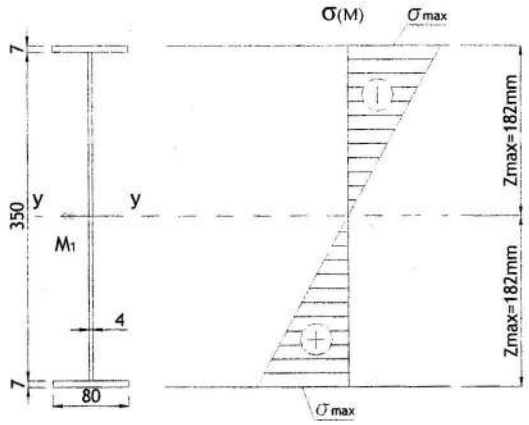


Fig.1.5. Verificări de rezistență Secțiunea S1

Relația de verificare este: $\sigma_{max} = \frac{M_1}{I_y^1} \cdot z_{max} \leq R; R = 220N/mm^2$

$M_1 = 58.32kNm;$

$I_y^1 = \frac{7^3 \cdot 80}{12} \cdot 2 + 2 \cdot 7 \cdot 80 \cdot 178.5^2 + \frac{350^3 \cdot 4}{12} = 49.98 \cdot 10^6 mm^4;$

$z_{max} = 182mm;$

$\Rightarrow \sigma_{max} = \frac{58.32 \cdot 10^6 N \cdot mm}{49.98mm^4 \cdot 10^6} \cdot 182mm = 212.37N/mm^2 < R = 220N/mm^2.$

1.4.2. VERIFICAREA SECȚIUNII S2 (SECȚIUNEA DE REAZEM CURENT)

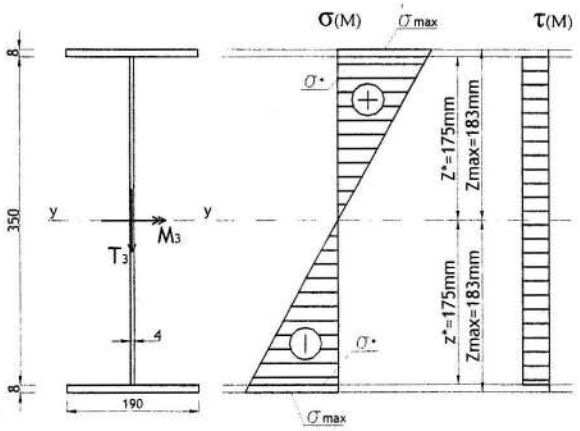


Fig.1.6. Verificări de rezistență Secțiunea S2

Relațiile de verificare sunt:

$$\sigma_{max} = \frac{M_2}{I_y^2} \cdot z_{max} \le R; R = 220N/mm^2;$$

$$\tau = \frac{T}{t_i \cdot h_i} \le R_f = 130N/mm_2 (\sim 0.6R);$$

$$\sigma_{ech.max.} = \sqrt{(\sigma^*)^2 + 3 \cdot \tau^2} \le 1.1 \cdot R; \sigma^* = \frac{M_2}{I_y^2} \cdot z^*.$$

$M_2 = 99.82kNm; T_2 = 0.500 \cdot 10.456kN/m \cdot 11m = 57.508kN;$

$I_y^2 = \frac{8^3 \cdot 140}{12} \cdot 2 + 2 \cdot 8 \cdot 140 \cdot 179^2 + \frac{350^3 \cdot 4}{12} = 86.08 \cdot 10^6 mm^4;$

$\Rightarrow \sigma_{max} = \frac{99.82 \cdot 10^6 Nmm}{86.08mm^4 \cdot 10^6} \cdot 183mm = 212.21N/mm^2 < R = 220N/mm^2;$

$\Rightarrow \tau = \frac{57.508 \cdot 10^3 N}{350mm \cdot 4mm} = 41.08N/mm^2 < R_f = 130N/mm^2;$

$\Rightarrow \sigma_{ech.max.} = \sqrt{(\sigma^*)^2 + 3 \cdot \tau^2}; \sigma^* = \frac{99.82 \cdot 10^6 Nmm}{86.08 \cdot 10^6 mm^4} \cdot 175mm = 202.93N/mm2;$

$\Rightarrow \sigma_{ech.max.} = \sqrt{(202.93)^2 + 3 \cdot (41.08)^2} = 215.04N/mm^2 < 1.1 \cdot R = 242N/mm^2.$

1.4.2. VERIFICAREA SECŢIUNII 3 (SECŢIUNEA DE PE PRIMUL REAZEM INTERMEDIAR)

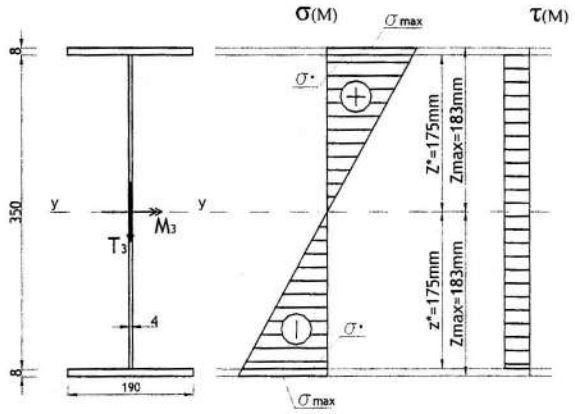


Fig.1.7. Verificări de rezistenţă Secţiunea 3

Relaţiile de verificare sunt:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_3}{I_y^3} \cdot z_{\max} \le R; R = 220N/mm^2;$$

$$\tau = \frac{T}{t_i \cdot h_i} \le R_f = 130N/mm_2 (\sim 0.6R);$$

$$\sigma_{ech.\max.} = \sqrt{(\sigma^*)^2 + 3 \cdot \tau^2} \le 1.1 \cdot R; \sigma^* = \frac{M_3}{I_y^3} \cdot z^*.$$

$$M_3 = 133.22kNm; T_3 = 0.625 \cdot 10.456kN/m \cdot 11m = 71.885kN;$$

$$I_y^3 = \frac{8^3 \cdot 190}{12} \cdot 2 + 2 \cdot 8 \cdot 190 \cdot 179^2 + \frac{350^3 \cdot 4}{12} = 111.71 \cdot 10^6 mm^4;$$

$$\Rightarrow \sigma_{\max} = \frac{133.22 \cdot 10^6 Nmm}{111.71 \cdot 10^6 mm^4} \cdot 183mm = 218.24N/mm^2 < R = 220N/mm^2;$$

$$\Rightarrow \tau = \frac{71.885 \cdot 10^3 N}{350mm \cdot 4mm} = 51.35N/mm^2 < R_f = 130N/mm^2;$$

$$\Rightarrow \sigma_{ech.\max.} = \sqrt{(\sigma^*)^2 + 3 \cdot \tau^2}; \sigma^* = \frac{133.22 \cdot 10^6 Nmm}{111.71 \cdot 10^6 mm^4} \cdot 175mm = 208.697N/mm2;$$

$$\Rightarrow \sigma_{ech.\max.} = \sqrt{(208.697)^2 + 3 \cdot (51.35)^2} = 226.86N/mm^2 < 1.1 \cdot R = 242N/mm^2.$$

1.5. VERIFICĂRI LA STAREA LIMITĂ DE DEFORMAȚIE (S.L.E.N.) ("VERIFICĂRI DE SĂGETĂ")

Observație: Pentru această verificare se vor folosi încărcări cu valori normate.

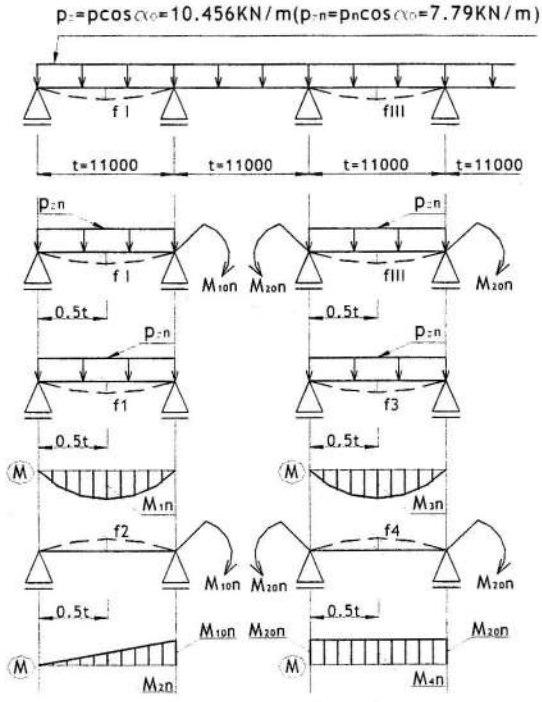


Fig.1.8. Verificări de săgeată

Se va verifica dacă : $f_I \le f_{adm}; f_{III} \le f_{adm}$

unde: $f_I = f_1 - f_2$; $f_1 = f_3 - f_4$

Pentru săgeți se vor folosi relațiile de calcul:

$$-f_1 = \frac{5}{384}\cdot\frac{p_z^{\,n}\cdot t^4}{E\cdot I_y^{\,2}} = \frac{5}{48}\cdot\frac{M_1^{\,n}\cdot t^2}{E\cdot I_y^{\,2}};$$

$$-f_2 = \frac{1}{16}\cdot\frac{M_{10}^{\,n}\cdot t^2}{E\cdot I_y^{\,2}} = \frac{1}{8}\cdot\frac{M_2^{\,n}\cdot t^2}{E\cdot I_y^{\,2}};$$

$$-f_3 = \frac{5}{384}\cdot\frac{p_z^{\,n}\cdot t^4}{E\cdot I_y^{\,1}} = \frac{5}{48}\cdot\frac{M_3^{\,n}\cdot t^2}{E\cdot I_y^{\,1}};$$

$$-f_4 = \frac{1}{16}\cdot 2\cdot\frac{M_{20}^{\,n}\cdot t^2}{E\cdot I_y^{\,1}} = \frac{1}{8}\cdot\frac{M_4^{\,n}\cdot t^2}{E\cdot I_y^{\,1}};$$

$$-M_{10}^{\,n} = 0.1053\cdot p_l^{\,n}\cdot t^2; M_{20}^{\,n} = 0.0789\cdot p_z^{\,n}\cdot t^2;$$

$$-M_1^{\,n} = M_3^{\,n} = \frac{p_z^{\,n}\cdot t^2}{8}; M_2^{\,n} = \frac{M_{10}^{\,n}}{2}; M_4^{\,n} = M_{20}^{\,n}.$$

$M_{10}^{n} = 0.1053 \cdot (7.79kN/m) \cdot (11m)^2 = 99.26kNm;$

$M_{20}^{n} = 0.0789 \cdot (7.79kN/m) \cdot (11m)^2 = 74.37kNm;$

$M_1^{n} = M_3^{n} = \frac{(7.79kN/m) \cdot (11m)^2}{8} = 117.83kNm;$

$M_2^{n} = \frac{M_{10}^{n}}{2} = \frac{99.26kNm}{2} = 49.63kNm;$

$M_4^{n} = M_{20}^{n} = 74.37kNm.$

Cu valorile acestor momente se calculează săgețile:

$f_1 = \frac{5}{48} \cdot \frac{117.83 \cdot 10^6 Nmm \cdot 11^2 \cdot 10^6 mm}{2.1 \cdot 10^5 N/mm^2 \cdot 86.08 \cdot 10^6 mm^4} = 82.16mm;$

$f_2 = \frac{1}{8} \cdot \frac{49.63 \cdot 10^6 Nmm \cdot 11^2 \cdot 10^6 mm}{2.1 \cdot 10^5 N/mm^2 \cdot 86.08 \cdot 10^6 mm^4} = 41.53mm;$

$f_3 = \frac{5}{48} \cdot \frac{117.83 \cdot 10^6 Nmm \cdot 11^2 \cdot 10^6 mm}{2.1 \cdot 10^5 N/mm^2 \cdot 49.98 \cdot 10^6 mm^4} = 141.50mm;$

$f_4 = \frac{1}{8} \cdot \frac{74.37 \cdot 10^6 Nmm \cdot 11^2 \cdot 10^6 mm}{2.1 \cdot 10^5 N/mm^2 \cdot 49.98 \cdot 10^6 mm^4} = 107.17mm;$

$f_I = f_1 - f_2 = 82.16 - 41.53 = 40.63mm;$

$f_{III} = f_3 - f_4 = 141.499 - 107.17 = 34.33mm.$

Observație: $f_{adm} = \frac{t}{200} = 55mm.$

$\Rightarrow f_I = 40.63 < f_{adm} = 55mm;$

$\Rightarrow f_{III} = 34.33 < f_{adm} = 55mm;$

1.6. DIMENSIONAREA JOANTEI DE MONTAJ DIN PRIMUL REAZEM INTERMEDIAR

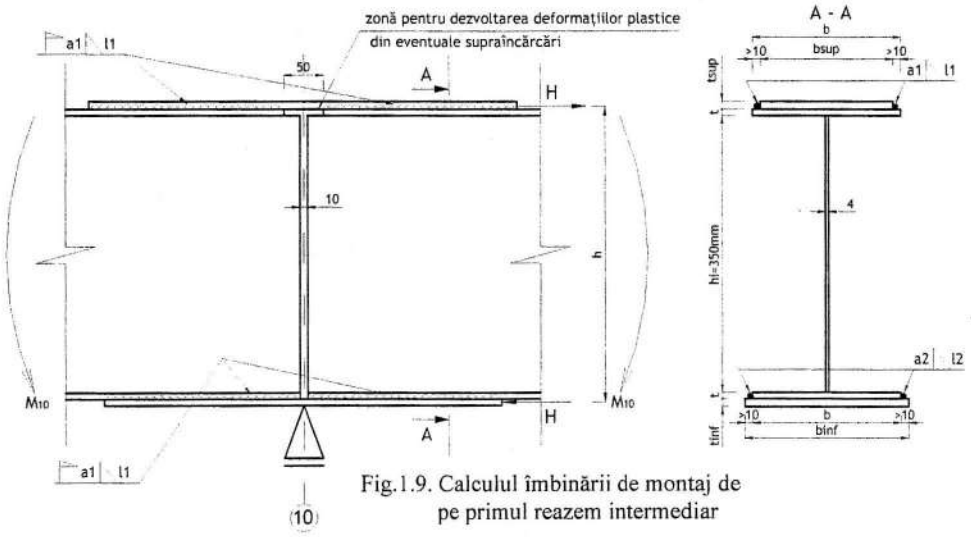


Fig.1.9. Calculul îmbinării de montaj de pe primul reazem intermediar

1^0 Se apreciază distanța h între centrele de greutate ale ecliselor (egală cu brațul de pârghie al cuplului de forțe H în care se descompune momentul M_{10});

$h \cong h_i + 3 \cdot t;$

$h = 350 + 3 \cdot 8 = 374mm.$

2^0 Se apreciază valoarea forței H:

$$H = \frac{M_{10}}{R}; M_{10} = 0.1053 \cdot p^{=} \cdot t^2 = 133.22kNm;$$

$$H = \frac{133.22 \cdot 10^3 kNmm}{374mm} = 356.20kN.$$

3^0 Se propune $b_{SUP} \le b - 20mm$ şi $b_{INF} \ge b + 20mm$, ambele multiplu de 10mm:

$b_{SUP} \le (190 - 20)mm \Rightarrow b_{SUP} = 170mm;$

$b_{INF} \le (190 + 20)mm \Rightarrow b_{INF} = 210mm.$

Observație: Lățimea eclisei superioare (b_{SUP}) se alege mai mică decât lățimea tălpii panei, iar lățimea eclisei inferioare (b_{INF}) se alege mai mare decât lățimea tălpii panei pentru a evita realizarea cordoanelor de sudură $a_1 \cdot l_1$ sau $a_2 \cdot l_2$ prin sudură peste cap.

4^0 Se stabilesc grosimile ecliselor:

$$t_{\inf}^{nec} = \frac{H}{R \cdot b_{INF}} = \frac{356.20 \cdot 10^3 N}{220N/mm^2 \cdot 210mm} = 7.04mm \Rightarrow t_{\inf}^{ef} = 8mm;$$

$$t_{\sup}^{nec} = \frac{H}{R \cdot b_{SUP}} = \frac{356.20 \cdot 10^3 N}{220N/mm^2 \cdot 170mm} = 9.52mm \Rightarrow t_{\sup}^{ef} = 10mm.$$

5^0 Se propun grosimile pentru cordoanele de sudură (a_1 şi a_2) astfel încât:

$a_1 \le \min(0.7 \cdot t; 0.7 \cdot t_{SUP}); \min(0.7 \cdot t; 0.7 \cdot t_{SUP}) = \min(5.6; 7) = 5.6mm;$

$a_2 \le \min(0.7 \cdot t; 0.7 \cdot t_{INF}); \min(0.7 \cdot t; 0.7 \cdot t_{INF}) = \min(5.6; 5.6) = 5.6mm;$

$\Rightarrow a_1 = a_2 = 5.0mm.$

6^0 Se determină lungimile necesare pentru cordoanele de sudură:

$$l_{1nec} = \frac{H}{2 \cdot a_1 \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_1 = \frac{356.20 \cdot 10^3 N}{2 \cdot 5mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 5mm = 247.47mm \Rightarrow l_1 = 250mm;$$

$$l_{2nec} = \frac{H}{2 \cdot a_2 \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_2 = \frac{356.20 \cdot 10^3 N}{2 \cdot 5mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 5mm = 247.47mm \Rightarrow l_2 = 250mm.$$

Observație: $R_f^s = 0.7 \cdot R = 150N/mm^2; R = 220N/mm^2.$

R_f^s = rezistența de calcul pentru cordoane de sudură în relief.

7^0 Se verifică condițiile constructive:

$15 \cdot a_1 \le l_1 \le 60 \cdot a_1 \Leftrightarrow 75 < 250 < 300;$

$15 \cdot a_2 \le l_2 \le 60 \cdot a_2 \Leftrightarrow 75 < 250 < 300.$

1.7. DIMENSIONAREA JOANTEI DE MONTAJ DE PE REAZEMUL CURENT

1^0 Se apreciază distanța h între centrele de greutate ale ecliselor:

$h \cong h_i + 3 \cdot t;$

$h = 350 + 3 \cdot 8 = 374mm.$

2^0 Se apreciază valoarea forței H:

$$H = \frac{M_{20}}{R}; M_{20} = 0.0789 \cdot p^z \cdot t^2 = 99.82 kNm;$$

$$H = \frac{99.82 \cdot 10^3 kNmm}{374mm} = 266.89kN.$$

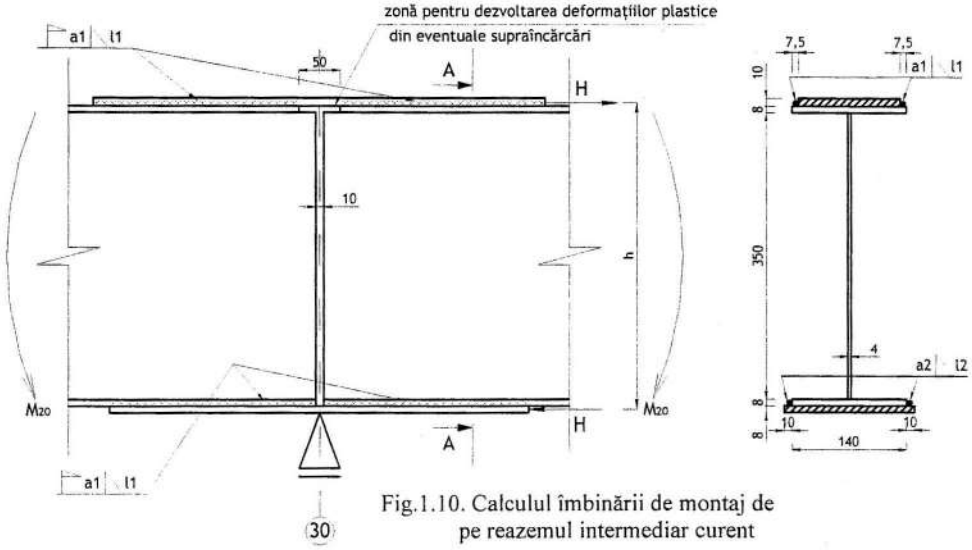


Fig.1.10. Calculul îmbinării de montaj de pe reazemul intermediar curent

3^0 Se propun: b_{SUP} = 130mm ; b_{INF} = 160mm.

4^0 Se stabilesc grosimile ecliselor:

$$t_{\inf}^{nec} = \frac{H}{R \cdot b_{INF}} = \frac{266.89 \cdot 10^3 N}{220N/mm^2 \cdot 160mm} = 7.58mm \Rightarrow t_{\inf}^{ef} = 8mm;$$

$$t_{\sup}^{nec} = \frac{H}{R \cdot b_{SUP}} = \frac{266.89 \cdot 10^3 N}{220N/mm^2 \cdot 130mm} = 9.33mm \Rightarrow t_{\sup}^{ef} = 10mm.$$

5^0 Se propun grosimile pentru cordoanele de sudură (a_1 și a_2):

$a_1 = a_{2.} = 4mm;$

6^0 Se determină lungimile necesare pentru cordoanele de sudură:

$$l_{1nec} = \frac{H}{2 \cdot a_1 \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_1 = \frac{266.89 \cdot 10^3 N}{2 \cdot 4mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 4mm = 230.41mm \Rightarrow l_1 = 240mm;$$

$$l_{2nec} = \frac{H}{2 \cdot a_2 \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_2 = \frac{266.89 \cdot 10^3 N}{2 \cdot 4mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 4mm = 230.41mm \Rightarrow l_2 = 240mm.$$

Observație: $R_f^s = 0.7 \cdot R = 150N/mm^2; R = 220N/mm^2.$

7^0 Se verifică condițiile constructive:

$15 \cdot a_1 \le l_1 \le 60 \cdot a_1 \Leftrightarrow 60 < 240 \le 240;$

$15 \cdot a_2 \le l_2 \le 60 \cdot a_2 \Leftrightarrow 60 < 240 \le 240.$

2. CALCUL FERMĂ CURENTĂ

2.1. SCHEMĂ GEOMETRICĂ FERMĂ

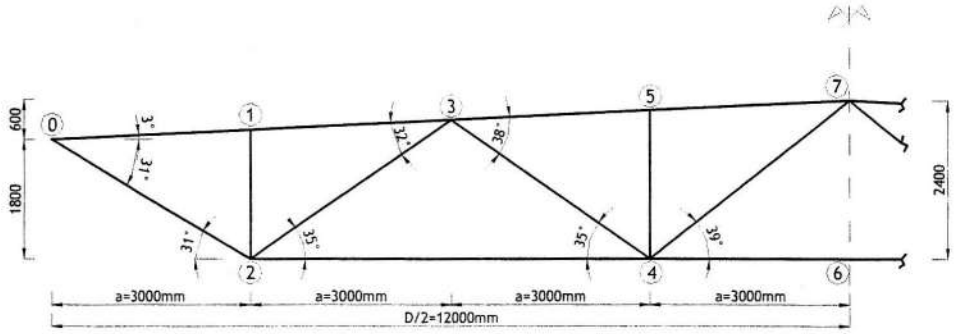


Fig.2.1. Schemă geometrică fermă

Lungimile barelor fermei sunt următoarele:

- $l_{01} = l_{13} = l_{35} = l_{57} = 3003.75mm \approx 3004mm$;
- $l_{02} = 3498.57mm \approx 3499mm$;
- $l_{24} = 6000mm$;
- $l_{46} = 3000mm$;
- $l_{12} = 1950mm$;
- $l_{45} = 2250mm$;
- $l_{23} = l_{34} = 3661.97mm \approx 3662mm$;
- $l_{47} = 3841.87mm \approx 3842mm$.

2.2. EVALUARE ÎNCĂRCĂRI

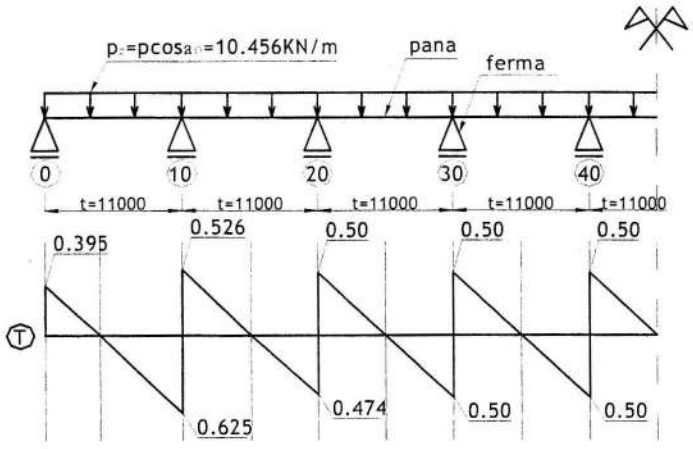


Fig. 2.2. Diagramă de forță tăietoare pe pana curentă de acoperiș

Observație:

Fermele constituie reazemele panelor, prin urmare reacțiunile din reazemele panelor constituie încărcări pentru ferme. La aceste reacțiuni se adaugă încărcarea din greutatea proprie a fermelor (0.15 kN/m^2 – încărcare normată).

Calculul reacțiunilor din reazeme:

- $V_0 = 0.395 \cdot p_z \cdot t; p_z = 10.456 kN/m; t = 11000mm = 11.0m$

$\Rightarrow V_0 = 45.43kN.$

- $V_{10} = (0.526 + 0.625) \cdot 10.456 \cdot 11 = 132.38kN.$
- $V_{20} = (0.5 + 0.474) \cdot 10.456 \cdot 11 = 112.03kN.$
- $V_{30} = V_{40} = V_{50} = V_{60} = 115.02kN.$

p_z [kN/m] – componenta verticală a încărcării de la nivelul panei curente de acoperiș (valoare de calcul a încărcării);

P [kN] – încărcarea care acționează asupra fermei;

Se apreciază că încărcarea normată din greutatea proprie a fermelor este $0.15kN/m^2$.

$P = V_{30} + 0.15kN/m^2 \cdot n_i \cdot a \cdot t;$

$V_{30} = 115.02kN;$

$n_i = 1.1; a = 3000mm = 3.0m; t = 11000mm = 11.0m;$

$\Rightarrow P = 115.02kN + 0.15kN/m^2 \cdot 1.1 \cdot 3m \cdot 11m = 119.38kN.$

2.3.CALCUL EFORTURILOR AXIALE ÎN BARELE FERMEI

Calculul eforturilor axiale din bare se face cu ajutorul metodei secțiunilor.

Se trasează diagrama de moment încovoietor și de forță tăietoare pentru ansamblul fermei;

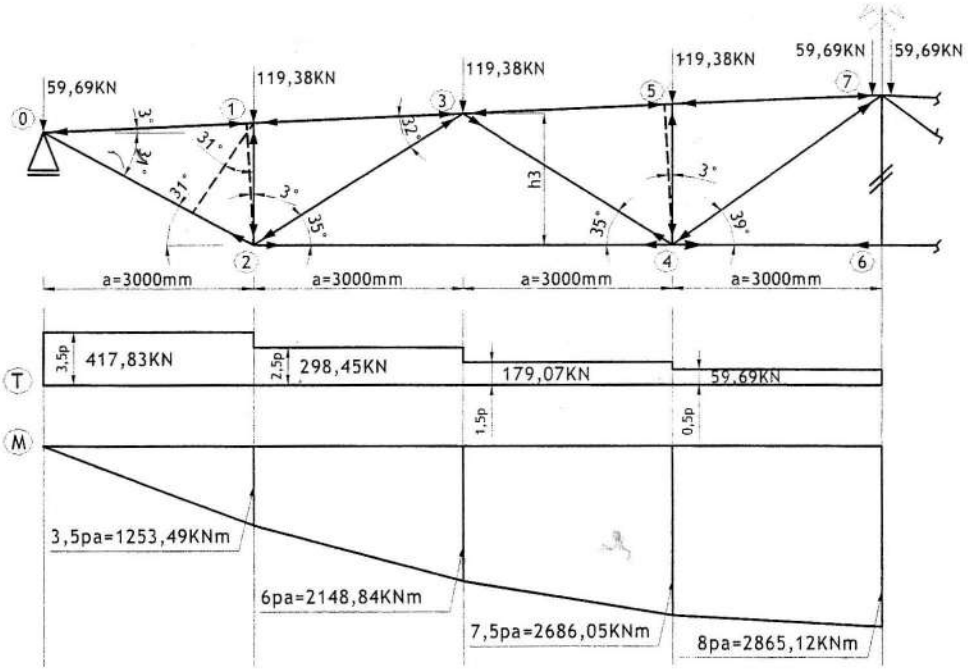
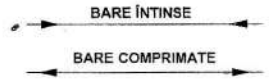


Fig.2.3. Schematizare calcul pentru stabilirea eforturilor axiale din barele fermei

Convenție de reprezentare:



Observație:
Presupunând un efort inițial, fie de întindere, fie de compresiune, dacă efortul rezultat din ecuațiile de echilibru are semn pozitiv, efortul presupus inițial (întindere sau compresiune) este corect.

Cu ajutorul diagramei de moment încovoietor se determină eforturile din barele ce compun tălpile fermei;

$P = 119.38kN$ $\alpha_0 = 3^\circ; \alpha_1 = 31^\circ; \alpha_2 = 35^\circ; \alpha_3 = 39^\circ.$

2.3.1. EFORTURI ÎN TALPA INFERIOARĂ: $(0)-(2)-(4)-(6)$

$$N_{46} = \frac{8 \cdot p \cdot a}{l_{67}} = \frac{2865.12kN \cdot m}{2.4m} = 1193.8kN;$$

$$tg\alpha_3 = \frac{l_{67}}{l_{46}} \Leftrightarrow \frac{\sin\alpha_3}{\cos\alpha_3} = \frac{l_{67}}{3000} \Rightarrow l_{67} = \frac{\sin\alpha_3 \cdot 3000}{\cos\alpha_3} = \frac{0.62470 \cdot 3000}{0.78067} = 2400mm = 2.4m;$$

$$N_{24} = \frac{6 \cdot p \cdot a}{h_3} = \frac{2148.84kN \cdot m}{2.1006m} = 1022.96kN;$$

$$tg\alpha_2 = \frac{h_3}{\frac{1}{2} \cdot l_{24}} \Leftrightarrow \frac{\sin\alpha_2}{\cos\alpha_2} = \frac{h_3}{3000} \Rightarrow h_3 = \frac{\sin\alpha_2 \cdot 3000}{\cos\alpha_2} = \frac{0.57358 \cdot 3000}{0.81919} = 2100.6mm = 2.1006m;$$

$$N_{02} = \frac{3.5 \cdot p \cdot a}{l_{12} \cdot \cos\alpha_1} = \frac{1253.49kN \cdot m}{1.95m \cdot 0.85752} = 749.62kN;$$

$$l_{12} = h_3 - x; x = tg\alpha_0 \cdot 3000 = \frac{0.04989}{0.99875} \cdot 3000 = 149.86mm \Rightarrow l_{12} = 1950.14mm = 1.95014m$$

2.3.2. EFORTURI ÎN TALPA SUPERIOARĂ: $(0)-(1)-(3)-(5)-(7)$

$$N_{01} = N_{13} = \frac{3.5 \cdot p \cdot a}{l_{12} \cdot \cos\alpha_0} = \frac{1253.49kN \cdot m}{1.95m \cdot 0.99875} = 643.62kN;$$

$$N_{35} = N_{57} = \frac{7.5 \cdot p \cdot a}{l_{45} \cdot \cos\alpha_0} = \frac{2686.05kN \cdot m}{2.25m \cdot 0.99875} = 1195.29kN;$$

2.3.3. EFORTURI ÎN MONTANȚI:

Eforturile axiale din montanții 1-2 și 4-5 rezultă dintr-o ecuație de proiecție pe verticală izolând nodul 1 și respectiv nodul 5.

$N_{12} = N_{45} = 119.38kN;$

Efortul din montantul 6-7 este nul deoarece nodul 6 este neîncărcat pe verticală.

2.3.4. EFORTURI ÎN DIAGONALE:

Cu ajutorul diagramei de forță tăietoare se stabilesc eforturile axiale din diagonale:

$$N_{23} = \frac{2.5 \cdot p - N_{13} \cdot \sin\alpha_0}{\sin\alpha_2} = \frac{298.45kN - 643.62kN \cdot 0.04989}{0.57358} = 464.35kN;$$

$$N_{34} = \frac{1.5 \cdot p - N_{35} \cdot \sin\alpha_0}{\sin\alpha_2} = \frac{179.07kN - 1195.29kN \cdot 0.04989}{0.57358} = 208.23kN;$$

$$N_{47} = \frac{0.5 \cdot p - N_{57} \cdot \sin\alpha_0}{\sin\alpha_3} = \frac{59.69kN - 1195.29kN \cdot 0.04989}{0.629} = 0.09kN;$$

2.4. DIMENSIONARE BARE COMPRIMATE

Observație:
Barele fermei supuse la compresiune sunt: $B_{0\text{-}1}$; $B_{1\text{-}3}$; $B_{3\text{-}5}$; $B_{5\text{-}7}$; $B_{1\text{-}2}$; $B_{4\text{-}5}$; $B_{2\text{-}3}$ şi $B_{4\text{-}7}$.

2.4.1. ETAPE DE DIMENSIONARE PENTRU BARELE COMPRIMATE

Toate barele fermei vor fi alcătuite din două corniere puțin depărtate (vezi figura 2.4 a), excepție făcând $B_{6\text{-}7}$ care are o alcătuire particulară (vezi figura 2.4 b).

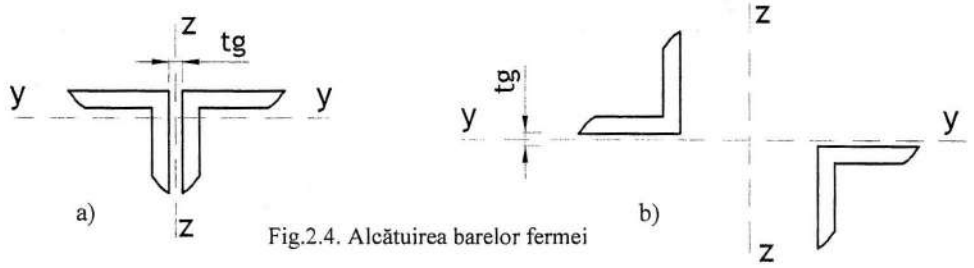


Fig.2.4. Alcătuirea barelor fermei

Distanța dintre cornierele ce compun secțiunile transversale ale barei (t_g) este aceeaşi pentru toate barele fermei.

Pentru dimensionarea barelor comprimate se parcurg următoarele etape:

1^0 Se propune o arie pentru secțiunea barei : $A^{PROPUS} = \dfrac{N_{bară}}{\alpha \cdot R}$;

$R = 220N/mm^2$; R – rezistența de calcul a oțelului folosit OL37;

α – coeficient prin care se încearcă aproximarea coeficientului de flambaj minim al barei dimensionate. Se propun în acest sens valorile:

- pentru barele tălpii superioare : $\alpha = 0.7 \div 0.75$;
- pentru diagonale : $\alpha = 0.5 \div 0.6$;
- pentru montanți : $\alpha = 0.5 \div 0.6$;

$N_{bară}$ – efortul axial din bara dimensionată determinat cu valorile de calcul ale încărcărilor.

2^0 Se alege o secțiune alcătuită din două corniere cu aripi egale, puțin depărtate, astfel încât $A \cong A^{PROPUS}$; A – aria secțiunii transversale a celor două corniere ce compun secțiunea.

Observație:
Se recomandă alegerea unor corniere la care aripile au suplețe cât mai mare (adică corniere cu aripi cât mai late şi subțiri în loc de corniere cu aripi mai groase şi înguste). Este mai economică o secțiune alcătuită din corniere cu aripi mai late şi mai subțiri, în raport cu o secțiune cu aceeaşi arie dar alcătuită din corniere mai groase şi mai puțin late.

RECOMANDAT DE EVITAT

3^0 Se calculează coeficienții de zveltețe:

$$\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y}; \qquad \lambda_z = \frac{l_{fz}}{i_z};$$

l_{fy} – lungimea de flambaj a barei verificate în raport cu axa $y-y$;
- pentru barele ce compun talpa superioară a fermei, $l_{fy} = l_{BARĂ}$;
- pentru diagonale și montanți, $l_{fy} = 0,8 \cdot l_{BARĂ}$;

l_{fz} – lungimea de flambaj a barei verificate în raport cu axa z – z;
- pentru toate barele, $l_{fz} = l_{BARĂ}$;

$l_{BARĂ}$ – lungimea teoretică a barei (măsurată interax între noduri);
i_y– raza de girație a secțiunii transversale alcătuite din două corniere, în raport cu axa y-y;
i_z– raza de girație a secțiunii transversale alcătuite din două corniere, în raport cu axa z-z;

4^0 Verificare de zveltețe

Relația de verificare este: $\boxed{\lambda_y, \lambda_z \le \lambda_a}$

$\lambda_a = 120$ - pentru barele de la talpa superioară a fermei;
$\lambda_a = 150$ - pentru diagonale și montanți.
Dacă $\lambda_y, \lambda_z > \lambda_a$ se revine la punctul 2^0 și se propune o secțiune mai mare.

5^0 Se stabilesc coeficienții de flambaj:

$$\lambda_y \xrightarrow{CURBA(C)-OL37} \varphi_y; \quad \lambda_z \xrightarrow{CURBA(C)-OL37} \varphi_z; \quad \varphi = \min(\varphi_y, \varphi_z).$$

6^0 Verificare de stabilitate generală (flambaj):

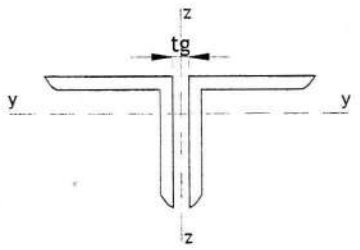
Relația de verificare este: $\boxed{\frac{N_{bară}}{\varphi \cdot A} \le R}$

Dacă această condiție nu este satisfăcută se revine la punctul 2^0.
Observație : Se va alege secțiunea cu aria cea mai mică care satisface condițiile de zveltețe (punctul 4^0) și stabilitate (punctul 6^0).

Observații :

1.Se va dimensiona mai întâi bara comprimată cu efortul axial cel mai mare (B_{3-5} și B_{5-7}), care condionează grosimea guseului "t_g" pentru ntreaga fermă (t_g = distanța dintre cele două corniere ce compun secțiunea transversală a barelor).

$$t_g \ge \frac{b_{CORNIER}^{B_{5-7}}}{10}; t_g \in \{8;9;10;12;14;15;16mm\}$$



2.B_{4-7} se va dimensiona din condiția de zveltețe pentru bare comprimate ($\lambda_a \le 150$), indiferent de tipul efortului din bară (întindere sau compresiune).

2.4.2. DIMENSIONAREA BARELOR CELOR MAI SOLICITATE: $B_{3\text{-}5}$ şi $B_{5\text{-}7}$

1^0 $A^{PROPUS} = \frac{N_{35}}{\alpha \cdot R}; \alpha = 0.7; R = 220N/mm^2 \Rightarrow A^{PROPUS} = \frac{1195.29 \cdot 10^3 N}{0.7 \cdot 220N/mm^2} = 7761.62mm^2$

2^0 Se propun corniere 150x150x14 cu $2 \cdot A^{cornier} = 8060mm^2$;

3^0 Se calculează coeficienţii de zvelteţe:

$$\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y} = \frac{3003.75\,mm}{45.8\,mm} = 65.58; l_{fy} = l_{57} = l_{35} = 3003.75\,mm; i_y = 45.8mm;$$

$$\lambda_z = \frac{l_{fz}}{i_z} = \frac{3003.75\,mm}{67.6\,mm} = 44.43; l_{fz} = l_{57} = l_{35} = 3003.75\,mm; i_z = 67.6mm;$$

4^0 Verificare de zvelteţe

$\lambda_y = 65.58 < \lambda_a = 120$

$\lambda_z = 44.43 < \lambda_a = 120$

5^0 Se determină coeficienţii de flambaj

$\lambda_y = 65.58 \xrightarrow{CURBA(C)\text{-}OL37} \varphi_y = 0.714;$

$\lambda_z = 44.43 \xrightarrow{CURBA(C)\text{-}OL37} \varphi_z = 0.858;$

$\varphi = \min(\varphi_y, \varphi_z) \Rightarrow \varphi = 0.714.$

6^0 Verificare de stabilitate generală

$\frac{N_{57}}{\varphi \cdot A} = \frac{1195.29 \cdot 10^3 N}{0.714 \cdot 8060mm^2} = 207.70N/mm^2;$

$R = 220N/mm^2;$

$\Rightarrow \frac{N_{57}}{\varphi \cdot A} < R.$

► Se alege secţiunea : **2*150x150x14** cu $A = 8060mm^2$.

2.4.3. DIMENSIONARE $B_{0\text{-}1}$ şi $B_{1\text{-}3}$

1^0 $A^{PROPUS} = \frac{N_{01}}{\alpha \cdot R}; \alpha = 0.7; R = 220N/mm^2 \Rightarrow A^{PROPUS} = \frac{643.62 \cdot 10^3 N}{0.7 \cdot 220N/mm^2} = 4179.35mm^2$

2^0 Se propun corniere 100x100x12 cu $2 \cdot A^{cornier} = 4540mm^2$;

3^0 Se calculează coeficienţii de zvelteţe:

$$\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y} = \frac{3003.75mm}{30.2mm} = 99.46; l_{fy} = 3003.75mm; i_y = 30.2mm;$$

$$\lambda_z = \frac{l_{fz}}{i_z} = \frac{3003.75mm}{47.4mm} = 63.37; l_{fz} = 3003.75mm; i_z = 47.4mm;$$

4^0 Verificare de zvelteţe

$\lambda_y = 99.46 < \lambda_a = 120;$

$\lambda_z = 63.37 < \lambda_a = 120.$ Verificarea de zvelteţe este satisfăcută.

5^0 Se determină coeficienţii de flambaj

$\lambda_y = 99.46 \xrightarrow{CURBA(C)\text{-}OL37} \varphi_y = 0.502;$ $\lambda_z = 63.37 \xrightarrow{CURBA(C)\text{-}OL37} \varphi_z = 0.734;$

$\varphi = \min(\varphi_y, \varphi_z) \Rightarrow \varphi = 0.502.$

6^0 Verificare de stabilitate generală

$$\frac{N_{57}}{\varphi \cdot A} = \frac{643.62 \cdot 10^3 N}{0.502 \cdot 4540 mm^2} = 282.4 N/mm^2;$$

$$R = 220 N/mm^2;$$

$$\Rightarrow \frac{N_{57}}{\varphi \cdot A} > R.$$

► Redimensionare

2^0 Se propun corniere 120x120x12 cu $2 \cdot A^{cornier} = 5500 mm^2$;

3^0 Se calculează coeficienții de zvelțețe:

$$\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y} = \frac{3003.75mm}{36.5mm} = 82.29; l_{fy} = 3003.75mm; i_y = 36.5mm;$$

$$\lambda_z = \frac{l_{fz}}{i_z} = \frac{3003.75mm}{55.4mm} = 54.22; l_{fz} = 3003.75mm; i_z = 55.4mm;$$

4^0 Verificare de zvelțețe

$\lambda_y = 82.29 < \lambda_a = 120;$
$\lambda_z = 54.22 < \lambda_a = 120.$ Verificarea de zvelțețe este satisfăcută.

5^0 Se determină coeficienții de flambaj

$$\lambda_y = 82.29 \xrightarrow{CURBA(C)-OL37} \varphi_y = 0.606;$$

$$\lambda_z = 54.22 \xrightarrow{CURBA(C)-OL37} \varphi_z = 0.735;$$

$$\varphi = \min(\varphi_y, \varphi_z) \Rightarrow \varphi = 0.606.$$

6^0 Verificare de stabilitate generală

$$\frac{N_{57}}{\varphi \cdot A} = \frac{643.62 \cdot 10^3 N}{0.606 \cdot 5500 mm^2} = 193.11 N/mm^2;$$

$$R = 220 N/mm^2;$$

$$\Rightarrow \frac{N_{57}}{\varphi \cdot A} < R.$$

► Se alege secțiunea: **2*120x120x12** cu $A = 5500 mm^2$.

2.4.4. DIMENSIONARE B_{1-2}

$$1^0\ A^{PROPUS} = \frac{N_{12}}{\alpha \cdot R}; \alpha = 0.6; R = 220 N/mm^2 \Rightarrow A^{PROPUS} = \frac{119.38 \cdot 10^3 N}{0.6 \cdot 220 N/mm^2} = 904.39 mm^2$$

2^0 Se propun corniere 60x60x5 cu $2 \cdot A^{cornier} = 1164 mm^2$;

3^0 Se calculează coeficienții de zvelțețe:

$$\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y} = \frac{0.8 \cdot 1950mm}{18.2mm} = 85.71; l_{fy} = 0.8 \cdot 1950mm; i_y = 18.2mm;$$

$$\lambda_z = \frac{l_{fz}}{i_z} = \frac{1950mm}{30.0mm} = 65; l_{fz} = 1950mm; i_z = 30.0mm;$$

4^0 Verificare de zvelteţe

$\lambda_y = 85.71 < \lambda_a = 150$

$\lambda_z = 65.0 < \lambda_a = 150$

5^0 Se determină coeficienţii de flambaj

$\lambda_y = 85.71 \xrightarrow{CURBA(C)-OL37} \varphi_y = 0.580;$

$\lambda_z = 650. \xrightarrow{CURBA(C)-OL37} \varphi_z = 0.721;$

$\varphi = \min(\varphi_y, \varphi_z) \Rightarrow \varphi = 0.580.$

6^0 Verificare stabilitate generală

$$\frac{N_{57}}{\varphi \cdot A} = \frac{119.38 \cdot 10^3 N}{0.580 \cdot 1164 mm^2} = 176.83 N/mm^2;$$

$R = 220 N/mm^2;$

$$\Rightarrow \frac{N_{57}}{\varphi \cdot A} < R.$$

► Se alege secţiunea: **2*60x60x5** cu $A = 1164 mm^2$.

2.4.5. DIMENSIONARE $B_{4\text{-}5}$

1^0 $A^{PROPUS} = \frac{N_{45}}{\alpha \cdot R}; \alpha = 0.6; R = 220 N/mm^2 \Rightarrow A^{PROPUS} = \frac{119.38 \cdot 10^3 N}{0.6 \cdot 220 N/mm^2} = 904.39 mm^2$

2^0 Se propun corniere 60x60x5 cu $2 \cdot A^{cornier} = 1164 mm^2$;

3^0 Se calculează coeficienţii de zvelteţe:

$$\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y} = \frac{0.8 \cdot 2250 mm}{18.2 mm} = 98{,}9; l_{fy} = 0.8 \cdot 2250 mm; i_y = 18.2 mm;$$

$$\lambda_z = \frac{l_{fz}}{i_z} = \frac{1800 mm}{30.0 mm} = 60; l_{fz} = 1800 mm; i_z = 30.0 mm;$$

4^0 Verificare de zvelteţe

$\lambda_y = 98.9 < \lambda_a = 150;$

$\lambda_z = 60.0 < \lambda_a = 150.$

Verificarea de zvelteţe este satisfăcută.

5^0 Se determină coeficienţii de flambaj

$\lambda_y = 98{,}9 \xrightarrow{CURBA(C)-OL37} \varphi_y = 0.502;$

$\lambda_z = 60.0 \xrightarrow{CURBA(C)-OL37} \varphi_z = 0.755;$

$\varphi = \min(\varphi_y, \varphi_z) \Rightarrow \varphi = 0.502.$

6^0 Verificare stabilitate generală

$$\frac{N_{57}}{\varphi \cdot A} = \frac{119.38 \cdot 10^3 N}{0.502 \cdot 1164 mm^2} = 204.30 N/mm^2;$$

$R = 220 N/mm^2;$

$$\Rightarrow \frac{N_{57}}{\varphi \cdot A} < R.$$

► Se alege secţiunea: **2*60x60x5** cu $A = 1164 mm^2$.

2.4.6. DIMENSIONARE $B_{2\text{-}3}$

1^0 $A^{PROPUS} = \frac{N_{23}}{\alpha \cdot R}; \alpha = 0.5; R = 220N/mm^2 \Rightarrow A^{PROPUS} = \frac{464.35 \cdot 10^3 N}{0.5 \cdot 220N/mm^2} = 4221.36mm^2$

2^0 Se propun corniere 100x100x12 cu $2 \cdot A^{cornier} = 4540mm^2$;

3^0 Se calculează coeficienții de zvelțețe:

$\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y} = \frac{0.8 \cdot 3661.97mm}{30.2mm} = 97; l_{fy} = 0.8 \cdot 3661.97mm; i_y = 30.2mm;$

$\lambda_z = \frac{l_{fz}}{i_z} = \frac{3661.97mm}{47.4mm} = 77.26; l_{fz} = 3661.97mm; i_z = 47.4mm;$

4^0 Verificare de zvelțețe

$\lambda_y = 97 < \lambda_a = 150$

$\lambda_z = 77.26 < \lambda_a = 150$

5^0 Se determină coeficienții de flambaj

$\lambda_y = 97 \xrightarrow{CURBA(C)\text{-}OL37} \varphi_y = 0.513;$

$\lambda_z = 77.26 \xrightarrow{CURBA(C)\text{-}OL37} \varphi_z = 0.639;$

$\varphi = \min(\varphi_y, \varphi_z) \Rightarrow \varphi = 0.513.$

6^0 Verificare stabilitate generală

$\frac{N_{57}}{\varphi \cdot A} = \frac{464.35 \cdot 10^3 N}{0.513 \cdot 4540mm^2} = 199.38N/mm^2;$

$R = 220N/mm^2;$

$\Rightarrow \frac{N_{57}}{\varphi \cdot A} < R.$

► Se alege secțiunea: **2*100x100x12** cu $A = 4540mm^2$.

2.5. DIMENSIONARE BARE ÎNTINSE

Observație: Barele fermei supuse la întindere sunt: $B_{4\text{-}6}$; $B_{2\text{-}4}$; $B_{0\text{-}2}$; $B_{3\text{-}4}$.

2.5.1. ETAPE DE DIMENSIONARE PENTRU BARE ÎNTINSE

1^0 Se calculează aria necesară: $A_{nec} = \frac{N_{bară}}{R};$

$N_{bară}$ – efortul axial din bara care se dimensionează, determinat cu încărcări cu valori de calcul.

$R = 220N/mm^2$; R – rezistența de calcul a oțelului folosit OL37;

2^0 Se alege o secțiune alcătuită din două corniere cu aripi egale astfel încât $A \geq A_{nec}$.

A – aria secțiunii transversale a celor două corniere ce compun secțiunea barei.

Observație : Se alege secțiunea cu aria cea mai apropiată de A_{nec}.

3^0 Se calculează coeficienții de zvelțețe: $\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y}; \lambda_z = \frac{l_{fz}}{i_z};$

l_{fy} – lungimea de calcul pentru coeficientul de zvelteţe în raport cu axa $y - y$ (are aceiaşi valoare cu lungimea de flambaj, dar se referă la o bară întinsă);

- pentru barele de la talpa inferioară a fermei, $l_{fy} = l_{BARĂ}$;
- pentru diagonale, $l_{fy} = 0.8 \cdot l_{BARĂ}$;

Observaţie : $B_{0\text{-}2}$ se consideră ca făcând parte din talpa inferioară.

l_{fz} – lungimea de calcul pentru coeficientul de zvelteţe în raport cu axa $z - z$;

- pentru diagonale, $l_{fz} = l_{BARĂ}$;
- pentru barele ce compun talpa inferioară a fermei, $l_{fz} \sim D$ (sau $0.5 \cdot D$ dacă se prevede o legătură în plan transversal în dreptul nodului central sub forma unei contrafişe);

$l_{BARĂ}$ – lungimea teoretică a barei verificate (măsurată interax între noduri);

i_y – raza de giraţie a secţiunii transversale alcătuite din două corniere, în raport cu axa y-y;

i_z – raza de giraţie a secţiunii transversale alcătuite din două corniere, în raport cu axa z-z;

4^0 Verificare de zvelteţe:

Relaţia de verificare este: $\boxed{\lambda_y, \lambda_z \le \lambda_a = 400}$

Dacă pentru barele ce compun talpa inferioară a fermei condiţia de zvelteţe nu este satisfăcută (dacă $\lambda_z > \lambda_a$) atunci se prevede o contrafişă la nivelul nodului central al tălpii inferioare, astfel încât pentru talpa inferioară lungimea de calcul a coeficientului de zvelteţe în plan perpendicular pe planul fermei devine $0.5D$ ($l_{fz} \cong 0.5 \cdot D$). Dacă nu s-ar prevedea această contrafişă, $l_{fz} \cong D$.

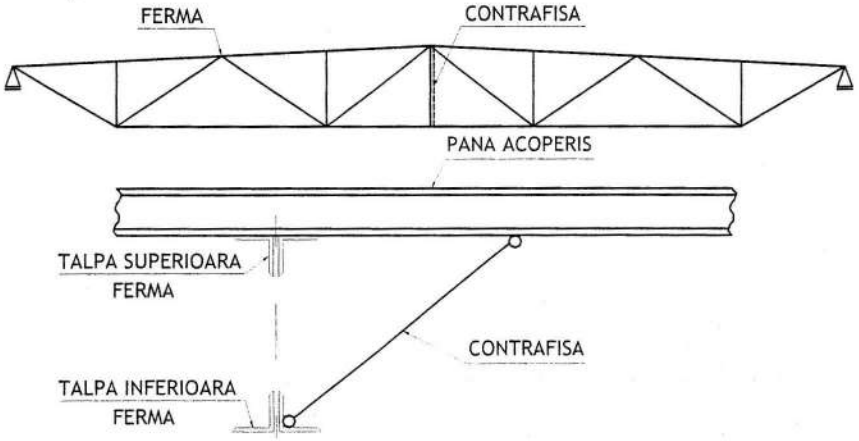


Fig.2.5. Amplasarea unei contrafişe în dreptul nodului central al tălpii inferioare a fermei

5^0 Verificare de rezistenţă

Relaţia de verificare este: $\boxed{\frac{N_{bară}}{A} \le R}$

2.5.2. DIMENSIONARE $B_{4\text{-}6}$

1^0 $A^{nec} = \frac{N_{46}}{R} = \frac{1193.8 \cdot 10^3 N}{220 N/mm^2} = 5426.36 mm^2$;

2^0 Se propun corniere 120x120x12 cu $2 \cdot A^{cornier} = 5500 mm^2$;

3^0 Se calculează coeficienții de zvelțețe:

$$\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y} = \frac{3000mm}{36.5mm} = 82.19; l_{fy} = 3000mm; i_y = 36.5mm;$$

$$\lambda_z = \frac{l_{fz}}{i_z} = \frac{12000mm}{55.4mm} = 216.61; l_{fz} = 12000mm; i_z = 55.4mm;$$

4^0 Verificare de zvelțețe:

$\lambda_y = 82.19 < \lambda_a = 400;$

$\lambda_z = 216.61 < \lambda_a = 400.$ Verificarea de zvelțețe este satisfăcută.

5^0 Verificare de rezistență:

$$\frac{N_{bară}}{A} \le R \Leftrightarrow \frac{1193.8 \cdot 10^3}{5500} = 217.05N/mm^2 < R = 220N/mm^2 \Rightarrow$$

Verificarea de rezistență este satisfăcută.

► Se alege secțiunea: 2*120x120x12 cu $A = 5500mm^2$.

2.5.3. DIMENSIONARE $B_{2\text{-}4}$

1^0 $A^{nec} = \frac{N_{24}}{R} = \frac{1022.96 \cdot 10^3 N}{220N/mm^2} = 4649.82mm^2;$

2^0 Se propun corniere 120x120x12 cu $2 \cdot A^{cornier} = 5500mm^2;$

3^0 Se calculează coeficienții de zvelțețe:

$$\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y} = \frac{6000mm}{36.5mm} = 164.38; l_{fy} = 6000mm; i_y = 36.5mm;$$

$$\lambda_z = \frac{l_{fz}}{i_z} = \frac{12000mm}{55.4mm} = 216.61; l_{fz} = 12000mm; i_z = 55.4mm;$$

4^0 Verificare de zvelțețe

$\lambda_y = 164.38 < \lambda_a = 400;$

$\lambda_z = 216.61 < \lambda_a = 400.$ Verificarea de zvelțețe este satisfăcută.

5^0 Verificare de rezistență:

$$\frac{N_{bară}}{A} \le R \Leftrightarrow \frac{1022.96 \cdot 10^3}{5500} = 185.99N/mm^2 < R = 220N/mm^2 \Rightarrow$$

Verificarea de rezistență este satisfăcută

► Se alege secțiunea: **2*120x120x12** cu $A = 5500mm^2$.

2.5.4. DIMENSIONARE $B_{0\text{-}2}$

1^0 $A^{nec} = \frac{N_{02}}{R} = \frac{749.62 \cdot 10^3 N}{220N/mm^2} = 3407.36mm^2;$

2^0 Se propun corniere 100x100x10 cu $2 \cdot A^{cornier} = 3840mm^2;$

3^0 Se calculează coeficienții de zvelțețe:

$$\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y} = \frac{3498.57mm}{30.4mm} = 115.08; l_{fy} = 3498.57mm; i_y = 30.4mm;$$

$$\lambda_z = \frac{l_{fz}}{i_z} = \frac{12000mm}{46.9mm} = 255.86; l_{fz} = 12000mm; i_z = 46.9mm;$$

4^0 Verificare de zvelteţe

$\lambda_y = 115.08 < \lambda_a = 400;$
$\lambda_z = 255.86 < \lambda_a = 400.$
Verificarea de zvelteţe este satisfăcută.

5^0 Verificare de rezistenţă:

$$\frac{N_{bară}}{A} \le R \Leftrightarrow \frac{749.62 \cdot 10^3}{3840} = 195.21 N/mm^2 < R = 220 N/mm^2 \Rightarrow$$

Verificarea de rezistenţă este satisfăcută

► Se alege secţiunea: **2*100x100x10** cu $A = 3840 mm^2$.

2.5.5. DIMENSIONARE B_{3-4}

1^0 $A^{nec} = \frac{N_{34}}{R} = \frac{208.23 \cdot 10^3 N}{220 N/mm^2} = 946.5 mm^2;$

2^0 Se propun corniere 50x50x5 cu $2 \cdot A^{cornier} = 960 mm^2;$

3^0 Se calculează coeficienţii de zvelteţe:

$$\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y} = \frac{0.8 \cdot 3661.97 mm}{15.1 mm} = 194.01; l_{fy} = 0.8 \cdot 3661.97 mm; i_y = 15.1 mm;$$

$$\lambda_z = \frac{l_{fz}}{i_z} = \frac{3661.97 mm}{26.3 mm} = 139.24; l_{fz} = 3661.97 mm; i_z = 26.3 mm;$$

4^0 Verificare de zvelteţe

$\lambda_y = 194.01 < \lambda_a = 400;$
$\lambda_z = 139.24 < \lambda_a = 400.$
Verificarea de zvelteţe este satisfăcută.

5^0 Verificare de rezistenţă:

$$\frac{N_{bară}}{A} \le R \Leftrightarrow \frac{208.23 \cdot 10^3}{960} = 216.91 N/mm^2 < R = 220 N/mm^2 \Rightarrow$$

Verificarea de rezistenţă este satisfăcută

► Se alege secţiunea: **2*50x50x5** cu $A = 960 mm^2$.

2.5.6. DIMENSIONARE B_{4-7}

1^0 $A^{nec} = \frac{N_{47}}{R} = \frac{0.11 \cdot 10^3 N}{220 N/mm^2} = 0.5 mm^2;$

Observaţie : Se va dimensiona secţiunea din condiţia de zvelteţe ($\lambda_y, \lambda_z \le 150$);

2^0 Se calculează raza de giraţie necesară:

$l_{fy} = 0.8 \cdot 3841.87 = 3073.5 mm$

$$\Rightarrow \frac{l_{fy}}{i_y} \le 150 \Rightarrow i_y \ge \frac{l_{fy}}{150} \Leftrightarrow i_y^{MIN} = \frac{3073.5}{150} = 20.5 \Rightarrow$$

Se propune un cornier 70x70x6 cu $i_y = 21.3 mm$.

3^0 Se calculează coeficienţii de zvelteţe:

$$\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y} = \frac{3073.5 mm}{21.3 mm} = 144.3; l_{fy} = 3073.5 mm; i_Y = 21.3 mm;$$

$$\lambda_z = \frac{l_{fz}}{i_z} = \frac{3841.87 mm}{34.2 mm} = 112.34; l_{fz} = 3841.87 mm; i_z = 34.2 mm;$$

4^0 Verificare de zvelteţe

$\lambda_y = 144.3 < \lambda_a = 150;$

$\lambda_z = 112.34 < \lambda_a = 150.$

Verificarea de zvelteţe este satisfăcută.

► Se alege secţiunea: **2*70x70x6** cu $A = 1626mm^2$.

5^0 Verificare de rezistenţă:

$$\frac{N_{bară}}{A} \le R \Leftrightarrow \frac{0.09 \cdot 10^3}{1626} = 0.055N/mm^2 < R = 220N/mm^2 \Rightarrow$$

Verificarea de rezistenţă este satisfăcută.

În urma dimensionării s-au obţinut următoarele secţiuni:

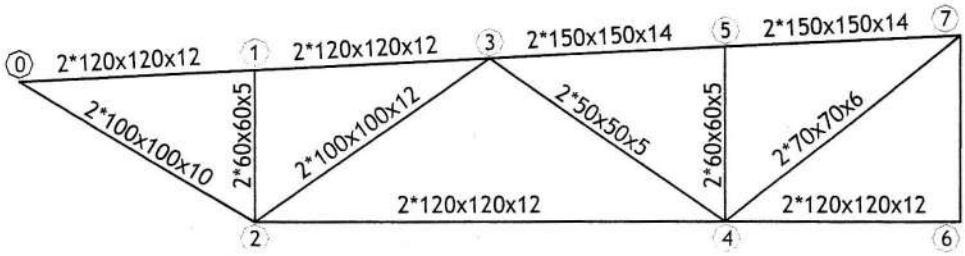


Fig.2.6. Secţiunile rezultate pentru barele fermei în urma dimensionării

Din motive constructive se propune următoarea alcătuire:

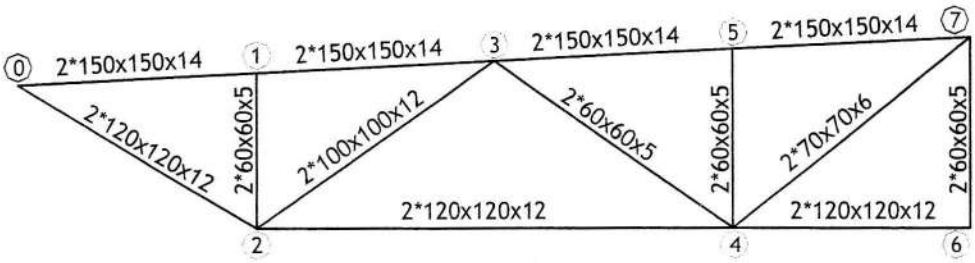


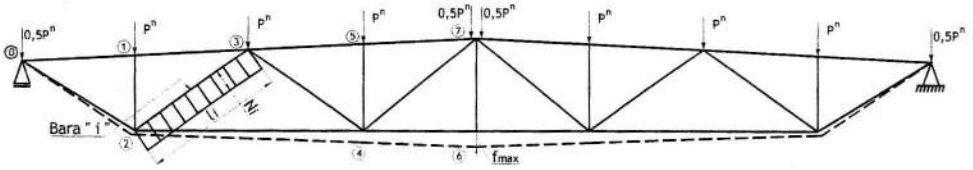
Fig.2.7. Secţiunile alese pe criterii constructive pentru barele fermei

2.6. VERIFICAREA STĂRII LIMITĂ DE DEFORMAŢIE ("VERIFICARE DE SĂGEATĂ") S.L.E.N.

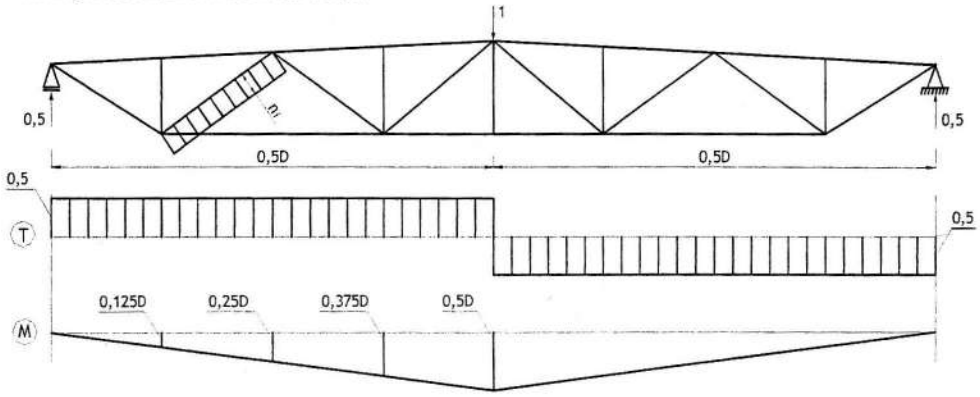
Relaţia de verificare este: $\boxed{f_{\max} \le f_{adm}; f_{adm} = \frac{D}{250}};$

Fiind o verificare de stare limită a exploatării normale, aceasta se face utilizând încărcări cu valori normate.

Situația reală de încărcare este:



Situația virtuală de încărcare este:



Întrucât barele ce compun ferma sunt solicitate preponderent axial, pentru calculul săgeții fermei din formula Maxwell-Mohr, se reține numai termenul ce conține forța axială:

$$f_{\max} = \int N \cdot n \frac{dx}{E \cdot A} + \underbrace{\int T \cdot t \frac{k \cdot dx}{E \cdot A} + \int M \cdot m \frac{dx}{E \cdot I}}_{se\_neglijeaza}.$$

Rezultă că :

$$f_{\max} \cong \sum f_i = \sum \frac{1}{E \cdot A_i} \cdot l_i \cdot N_i \cdot n_i \text{ . neglijează}$$

unde: - $E = 2.1 \cdot 10^5 \, N/mm^2$; E = modulul de elasticitate longitudinal;

- A_i = aria secțiunii transversale (compuse din două corniere) a barei "i";
- l_i = lungimea barei "i" ;
- N_i = forța axială din bara "i" în situația reală de încărcare (rezultată în urma încărcării fermei cu încărcările cu valori normate);
- n_i = forța axială din bara "i" în situația virtuală de încărcare (ferma se încarcă cu o forță "1" pe direcția săgeții ce urmează a fi calculate).

Deoarece calculul se efectuează în domeniul elastic, pentru determinarea eforturilor "N_i" se poate utiliza principiul proporționalității: $N_i = N_{bară\_i} \cdot \frac{P^n}{P}$;

$P^n = p_z^{\,n} \cdot t + 0.15kN/m^2 \cdot a \cdot t = 7.79kN/m \cdot 11m + 0.15kN/m^2 \cdot 3m \cdot 11m = 89.65kN;$

$P = p_z \cdot t + n_i \cdot 0.15kN/m^2 \cdot a \cdot t = 10.456kN/m \cdot 11m + 101 \cdot 0.15kN/m^2 \cdot 3m \cdot 11m = 119.38kN;$

unde:
- n_i - coeficient parțial de siguranță; n_i = 1,1 ;
- $0.15kN/m^2$ - valoarea normată a încărcării date de greutatea proprie a fermei;
- $p_z^{\,n}$, p_z - valorile normate, respectiv de calcul ale componentei verticale a încărcării de la nivelul panei curente; $p_z^{\,n} = 7.79kN/m$; $p_z = 10.456kN/m$;
- $a = 3000mm = 3m$;
- t = lungimea traveei = $11000mm = 11m$;
- $N_{bară\ i}$ – efortul axial din bara "i" obținut în urma încărcării fermei cu încărcările cu valori de calcul (forțele P din capitolul 2.3.).

$$\frac{P^n}{P} = \frac{86.65kN}{119.38kN} = 0.726$$

Calculul valorilor N_i:

Nr.crt.	BARĂ	$N_{bară\ i}$ [kN]	N_i [kN]
1	0-1	643.62kN	467.27kN
2	1-3	643.62kN	467.27kN
3	3-5	1195.29kN	867.78kN
4	5-7	1195.29kN	867.78kN
5	0-2	749.62kN	544.22kN
6	2-4	1022.96kN	742.67kN
7	4-6	1193.8kN	866.70kN
8	2-3	464.35kN	337.12kN
9	3-4	208.23kN	151.17kN
10	4-7	0.11kN	0.08kN
11	1-2	119.38kN	86.67kN
12	4-5	119.38kN	86.67kN
13	6-7	0	0

Calculul valorilor n_i:

$$n_{46} = \frac{0.5 \cdot D}{l_{67}} = \frac{0.5 \cdot 12m}{2.4m} = 2.5; \quad n_{24} = \frac{0.25 \cdot D}{l_{46}} = \frac{0.25 \cdot 12m}{2.4m} = 1.25;$$

$$n_{02} = \frac{0.125 \cdot D}{l_{12} \cdot \cos\alpha_1} = \frac{0.125 \cdot 12m}{1.95m \cdot \cos 31^\circ} \cong 0.898; \quad n_{23} = \frac{0.5 - n_{13} \cdot \sin\alpha_0}{\sin\alpha_2} = \frac{0.5 - 0.770 \cdot \sin 3^\circ}{\sin 35^\circ} = 0.801;$$

$$n_{13} = n_{01} = \frac{0.125 \cdot D}{l_{12} \cdot \cos\alpha_0} = \frac{0.125 \cdot 12m}{1.95m \cdot \sin 3^\circ} \cong 0.770; \quad n_{35} = n_{57} = \frac{0.375 \cdot D}{l_{45} \cdot \cos\alpha_0} = \frac{0.125 \cdot 12m}{2.25m \cdot \sin 3^\circ} \cong 2.003;$$

$$n_{67} = n_{45} = n_{12} = 0; \quad n_{47} = \frac{0.5 - n_{57} \cdot \sin\alpha_0}{\sin\alpha_3} = \frac{0.5 - 2.003 \cdot \sin 3^\circ}{\sin 39^\circ} = 0.628;$$

$$n_{34} = \frac{0.5 - n_{35} \cdot \sin\alpha_0}{\sin\alpha_2} = \frac{0.5 - 2.003 \cdot \sin 3^\circ}{\sin 35^\circ} = 0.689.$$

Nr. Crt.	BARĂ	l_i [mm]	A_i [mm^2]	N_i [kN]	n_i [-]	f_i [mm]
1	0-1	3003.75	8060	467.27	0.77	0.639
2	1-3	3003.75	8060	467.27	0.77	0.639
3	3-5	3003.75	8060	867.78	2.003	3.085
4	5-7	3003.75	8060	867.78	2.003	3.085
5	0-2	3498.57	5500	544.22	0.898	1.48
6	2-4	6000	5500	742.67	1.25	4.823
7	4-6	3000	5500	866.7	2.5	5.628
8	2-3	3661.97	4540	337.12	0.801	1.037
9	3-4	3661.97	1164	151.17	0.689	1.56
10	4-7	3841.87	1626	0.08	0.628	0.565
11	1-2	1950	1164	86.67	0	0
12	4-5	2250	1164	86.67	0	0
13	6-7	2400	1164	0	0	0
Total						**21.975**

unde

$$f_i = \frac{l_i \cdot N_i \cdot n_i}{E \cdot A_i}[mm]$$

$f_{\max} = 2 \cdot \sum f_i = 2 \cdot 21.975mm = 43.95mm;$

$f_{adm} = \frac{D}{250} = 96mm;$

$f_{\max} < f_{adm} \Rightarrow$ Verificarea de săgeată este satisfăcută.

2.7. DIMENSIONAREA PRINDERILOR CU SUDURĂ A DIAGONALELOR ŞI MONTANŢILOR

ETAPE DE CALCUL:

1^0 Se stabileşte efortul de calcul al prinderii sudate N_s:

$N_s = \min(1.3 \cdot N_{bară}; N_{cap});$

unde, $N_{bară}$ - efortul axial din bara "*i*" generat de încărcările cu valori de calcul;

$$N_{cap} = \begin{cases} A \cdot R - pentru\_bare\_întinse; \\ \varphi \cdot A \cdot R - pentru\_bare\_comprimate. \end{cases}$$

2^0 Se distribuie efortul N_s la cele două perechi de cordoane de sudură.

Pentru aceasta bara este considerată ca o grindă simplu rezemată, perechile de cordoane de sudură constituind reazemele acestei grinzi. Forţa N_s se consideră că acţionează în centrul de greutate al secţiunii alcătuite din două corniere la distanţa "*e*" de o muchie a secţiunii şi la distanţa "*b* - *e*" de cealaltă muchie.

Scriind ecuaţii de moment în fiecare reazem al grinzii se obţine:

$$(\sum M_i)_2 = 0 \Rightarrow N_s \cdot (b-e) - N_{s1} \cdot b = 0 \Rightarrow N_{s1} = \frac{b-e}{b} \cdot N_s;$$

$$(\sum M_i)_1 = 0 \Rightarrow -N_s \cdot e - N_{s2} \cdot b = 0 \Rightarrow N_{s2} = \frac{e}{b} \cdot N_s.$$

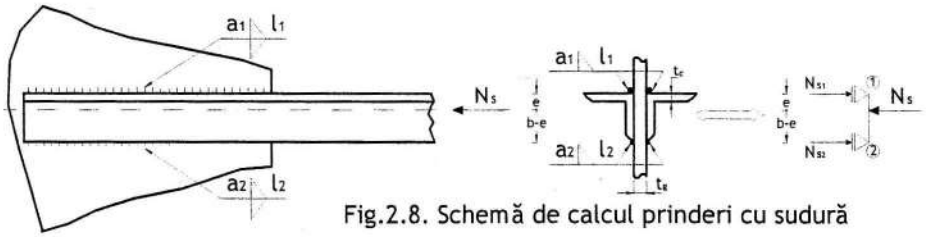


Fig.2.8. Schemă de calcul prinderi cu sudură

3^0 Se propun valori pentru grosimile cordoanelor de sudură:

$a_1, a_2 \in \{3;3^5;4;4^5;5;5^5;6;7\}$;

$a_1 \le \min\{0.7 \cdot t_g; 0.85 \cdot t_c\}$

$a_2 \le \min\{0.7 \cdot t_g; 0.7 \cdot t_c\}$, unde t_g - grosime guseu ; t_c - grosime cornier;

4^0 Se calculează lungimile necesare ale cordoanelor de sudură (l_{1nec}; l_{2nec}):

$$l_{1nec} = \frac{N_{s1}}{2 \cdot a_1 \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_1 = \frac{699.4 \cdot 10^3 N}{2 \cdot 8mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 8mm = 307.42mm \Rightarrow l_{1nec} = 310mm;$$

$$l_{2nec} = \frac{N_{s2}}{2 \cdot a_2 \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_2 = \frac{276.11 \cdot 10^3 N}{2 \cdot 5.5mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 5.5mm = 178.34mm \Rightarrow l_{2nec} = 180mm;$$

Valorile l_1, l_2, obținute din calcul se rotunjesc superior la multiplu de $10mm$.

R_f^s – rezistența de calcul la forfecare a sudurii în relief; $R_f^s = 0.7 \cdot R \cong 150N/mm^2$;

R – rezistența de calcul a oțelului folosit (OL37); $R = 220N/mm^2$.

5^0 Se verifică condițiile constructive:

$15 \cdot a_1 \le l_1 \le 60 \cdot a_1$;

$15 \cdot a_2 \le l_2 \le 60 \cdot a_2$;

$l_{1,2} \ge 60mm$;

$l_{1,2} \ge b$.

unde b – lățimea aripii cornierului sudat.

Dacă aceste condiții constructive nu sunt îndeplinite se revine la punctul 3^0 și se propun alte valori pentru grosimile de calcul a_1 și/sau a_2.

Observație: Pentru cordoanele de sudură ce prind bare puțin solicitate se prevăd dimensiunile minim constructive: $a = 3mm$ și $l = 60mm$ $(l \ge b)$;

2.7.1. DIMENSIONAREA PRINDERII CU SUDURĂ PENTRU BARA 0-2

1^0 $N_s = \min(1.3 \cdot N_{ef}; N_{cap})$;

$1.3 \cdot N_{ef} = 1.3 \cdot 749.62 = 974.51kN$;

$N_{cap} = A \cdot R = 5500mm^2 \cdot 220 \cdot 10^{-3} kN = 1210kN$

$\Rightarrow N_s = 974.51kN$.

2^0 $N_{s1} = \frac{b-e}{b} \cdot N_s = \frac{120mm - 34mm}{120mm} \cdot 974.51kN = 699.4kN;$

$N_{s2} = \frac{e}{b} \cdot N_s = \frac{34mm}{120mm} \cdot 974.51kN = 276.11kN;$

3^0 Se propun valori pentru a_1 şi a_2:

$a_1 \le \min(0.7 \cdot t_g; 0.85 \cdot t_c) \Leftrightarrow a_1 \le \min(10.5; 10.2) \Leftrightarrow a_1 \le 10.2 \Rightarrow a_1 = 8mm;$

$a_2 \le \min(0.7 \cdot t_g; 0.7 \cdot t_c) \Leftrightarrow a_2 \le \min(10.5; 8.4) \Leftrightarrow a_2 \le 8.4 \Rightarrow a_2 = 5^5 mm;$

deci a_1 =8mm; $a_2 = 5^5$mm.

4^0 Se calculează lungimile necesare ale cordoanelor de sudură (l_{1nec}; l_{2nec}):

$$l_{1nec} = \frac{N_{s1}}{2 \cdot a_1 \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_1 = \frac{699.4 \cdot 10^3 N}{2 \cdot 8mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 8mm = 307.42mm \Rightarrow l_{1nec} = 310mm;$$

$$l_{2nec} = \frac{N_{s2}}{2 \cdot a_2 \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_2 = \frac{276.11 \cdot 10^3 N}{2 \cdot 5.5mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 5.5mm = 178.34mm \Rightarrow l_{2nec} = 180mm;$$

5^0 Se verifică condiţiile constructive:

$15 \cdot a_1 \le l_1 \le 60 \cdot a_1 \Leftrightarrow 120 < 310 < 480 \Rightarrow$ se verifică.

$15 \cdot a_2 \le l_2 \le 60 \cdot a_2 \Leftrightarrow 82.5 < 180 < 330 \Rightarrow$ se verifică.

$$\Rightarrow \begin{cases} a_1 = 8mm; l_1 = 310mm; \\ a_2 = 5^5 mm; l_2 = 180mm. \end{cases}$$

2.7.2. DIMENSIONAREA PRINDERII CU SUDURĂ PENTRU BARA 1-2

1^0 $N_s = \min(1.3 \cdot N_{ef}; N_{cap});$

$1.3 \cdot N_{ef} = 1.3 \cdot 119.38kN = 155.19kN;$

$N_{cap} = \cdot A \cdot R = 0.580 \cdot 1164mm^2 \cdot 220 \cdot 10^{-3} kN = 148.53kN;$

$\Rightarrow N_s = 148.53kN.$

2^0 $N_{s1} = \frac{b-e}{b} \cdot N_s = \frac{60mm - 16.4mm}{60mm} \cdot 148.53kN = 107.93kN;$

$N_{s2} = \frac{e}{b} \cdot N_s = \frac{16.4mm}{60mm} \cdot 148.53kN = 40.6kN;$

3^0 Se propun valori pentru a_1 şi a_2:

$a_1 \le \min(0.7 \cdot t_g; 0.85 \cdot t_c) \Leftrightarrow a_1 \le \min(10.5; 4.25) \Leftrightarrow a_1 \le 4.25 \Rightarrow a_1 = 3^5 mm;$

$a_2 \le \min(0.7 \cdot t_g; 0.7 \cdot t_c) \Leftrightarrow a_2 \le \min(10.5; 3.5) \Leftrightarrow a_2 \le 3.5 \Rightarrow a_2 = 3mm;$

deci $a_1 = 3^5 mm$ şi $a_2 = 3mm$.

4^0 Se calculează lungimile necesare ale cordoanelor de sudură (l_{1nec}; l_{2nec}):

$$l_{1nec} = \frac{N_{s1}}{2 \cdot a_1 \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_1 = \frac{107.93 \cdot 10^3 N}{2 \cdot 3.5mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 3.5mm = 103.79mm \Rightarrow l_{1nec} = 110mm;$$

$$l_{2nec} = \frac{N_{s2}}{2 \cdot a_2 \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_2 = \frac{40.6 \cdot 10^3 N}{2 \cdot 3mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 3mm = 51.11mm \Rightarrow l_{2nec} = 60mm;$$

5^0 $15 \cdot a_1 \le l_1 \le 60 \cdot a_1 \Leftrightarrow 52.5 < 110 < 210 \Rightarrow$ se verifică.

$15 \cdot a_2 \le l_2 \le 60 \cdot a_2 \Leftrightarrow 45 < 60 < 180 \Rightarrow$ se verifică.

$$\Rightarrow \begin{cases} a_1 = 3^5 mm; l_1 = 110mm; \\ a_2 = 3mm; l_2 = 60mm. \end{cases}$$

2.7.3. DIMENSIONAREA PRINDERII CU SUDURĂ PENTRU BARA 2-3

1^0 $N_s = \min(1.3 \cdot N_{ef}; N_{cap})$;

$1.3 \cdot N_{ef} = 1.3 \cdot 464.35kN = 603.66kN$;

$N_{cap} = \cdot A \cdot R = 0.513 \cdot 4540mm^2 \cdot 220 \cdot 10^{-3} kN = 512.38kN$;

$\Rightarrow N_s = 512.38kN$.

2^0 $N_{s1} = \frac{b-e}{b} \cdot N_s = \frac{100mm - 29mm}{100mm} \cdot 512.38kN = 363.79kN$;

$N_{s2} = \frac{e}{b} \cdot N_s = \frac{29mm}{100mm} \cdot 512.38kN = 148.59kN$;

3^0 Se propun valori pentru a_1 şi a_2:

$a_1 \le \min(0.7 \cdot t_g; 0.85 \cdot t_c) \Leftrightarrow a_1 \le \min(10.5; 10.2) \Leftrightarrow a_1 \le 10.2 \Rightarrow a_1 = 6mm$;

$a_2 \le \min(0.7 \cdot t_g; 0.7 \cdot t_c) \Leftrightarrow a_2 \le \min(10.5; 8.4) \Leftrightarrow a_2 \le 8.4 \Rightarrow a_2 = 5mm$;

deci $a_1 = 6mm$ şi $a_2 = 5$mm.

4^0 Se calculează lungimile necesare ale cordoanelor de sudură (l_{1nec}; l_{2nec}):

$$l_{1nec} = \frac{N_{s1}}{2 \cdot a_1 \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_1 = \frac{363.79 \cdot 10^3 N}{2 \cdot 6mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 6mm = 214.11mm \Rightarrow l_{1nec} = 220mm;$$

$$l_{2nec} = \frac{N_{s2}}{2 \cdot a_2 \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_2 = \frac{148.59 \cdot 10^3 N}{2 \cdot 5mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 5mm = 109.06mm \Rightarrow l_{2nec} = 110mm;$$

5^0 $15 \cdot a_1 \le l_1 \le 60 \cdot a_1 \Leftrightarrow 90 < 220 < 360 \Rightarrow$ se verifică.

$15 \cdot a_2 \le l_2 \le 60 \cdot a_2 \Leftrightarrow 75 < 110 < 300 \Rightarrow$ se verifică.

$$\Rightarrow \begin{cases} a_1 = 6mm; l_1 = 220mm; \\ a_2 = 5mm; l_2 = 110mm. \end{cases}$$

2.7.4. DIMENSIONAREA PRINDERII CU SUDURĂ PENTRU BARA 3-4

1^0 $N_s = \min(1.3 \cdot N_{ef}; N_{cap})$;

$1.3 \cdot N_{ef} = 1.3 \cdot 208.23kN = 270.70kN$;

$N_{cap} = A \cdot R = 1164mm^2 \cdot 220 \cdot 10^{-3} kN = 256.08kN$;

$\Rightarrow N_s = 256.08kN$.

2^0 $N_{s1} = \frac{b-e}{b} \cdot N_s = \frac{60mm - 16.4mm}{60mm} \cdot 256.08kN = 186.08kN$;

$N_{s2} = \frac{e}{b} \cdot N_s = \frac{16.4mm}{60mm} \cdot 256.08kN = 69.99kN$;

3^0 Se propun valori pentru a_1 şi a_2:

$a_1 \le \min(0.7 \cdot t_g; 0.85 \cdot t_c) \Leftrightarrow a_1 \le \min(10.5; 4.25) \Leftrightarrow a_1 \le 4.25 \Rightarrow a_1 = 4mm;$

$a_2 \le \min(0.7 \cdot t_g; 0.7 \cdot t_c) \Leftrightarrow a_2 \le \min(10.5; 3.5) \Leftrightarrow a_2 \le 3.5 \Rightarrow a_2 = 3mm;$

deci $a_1 = 4mm$ şi $a_2 = 3mm$.

4^0 Se calculează lungimile necesare ale cordoanelor de sudură (l_{1nec}; l_{2nec}):

$$l_{1nec} = \frac{N_{s1}}{2 \cdot a_1 \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_1 = \frac{186.08 \cdot 10^3 N}{2 \cdot 4mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 4mm = 163.07mm \Rightarrow l_{1nec} = 170mm;$$

$$l_{2nec} = \frac{N_{s2}}{2 \cdot a_2 \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_2 = \frac{69.99 \cdot 10^3 N}{2 \cdot 3mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 3mm = 83.77mm \Rightarrow l_{2nec} = 90mm;$$

5^0 $15 \cdot a_1 \le l_1 \le 60 \cdot a_1 \Leftrightarrow 60 < 170 < 240 \Rightarrow$ se verifică.

$15 \cdot a_2 \le l_2 \le 60 \cdot a_2 \Leftrightarrow 45 < 90 < 180 \Rightarrow$ se verifică.

$$\Rightarrow \begin{cases} a_1 = 4mm; l_1 = 170mm; \\ a_2 = 3mm; l_2 = 90mm. \end{cases}$$

2.7.5. DIMENSIONAREA PRINDERII CU SUDURĂ PENTRU BARA 4-5

1^0 $N_s = \min(1.3 \cdot N_{ef}; N_{cap})$;

$1.3 \cdot N_{ef} = 1.3 \cdot 119.38 = 155.19kN;$

$N_{cap} = \cdot A \cdot R = 0.580 \cdot 1164mm^2 \cdot 220 \cdot 10^{-3} kN = 148.53kN;$

$\Rightarrow N_s = 148.53kN.$

2^0 $N_{s1} = \frac{b-e}{b} \cdot N_s = \frac{60mm - 16.4mm}{60mm} \cdot 148.53kN = 107.93kN;$

$N_{s2} = \frac{e}{b} \cdot N_s = \frac{16.4mm}{60mm} \cdot 148.53kN = 40.6kN;$

3^0 Se propun valori pentru a_1 şi a_2:

$a_1 \le \min(0.7 \cdot t_g; 0.85 \cdot t_c) \Leftrightarrow a_1 \le \min(10.5; 4.25) \Leftrightarrow a_1 \le 4.25 \Rightarrow a_1 = 3^5 mm;$

$a_2 \le \min(0.7 \cdot t_g; 0.7 \cdot t_c) \Leftrightarrow a_2 \le \min(10.5; 3.5) \Leftrightarrow a_2 \le 3.5 \Rightarrow a_2 = 3mm;$

deci $a_1 = 3^5 mm$ şi $a_2 = 3mm$.

4^0 Se calculează lungimile necesare ale cordoanelor de sudură (l_{1nec}; l_{2nec}):

$$l_{1nec} = \frac{N_{s1}}{2 \cdot a_1 \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_1 = \frac{107.93 \cdot 10^3 N}{2 \cdot 3.5mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 3.5mm = 103.79mm \Rightarrow l_{1nec} = 110mm;$$

$$l_{2nec} = \frac{N_{s2}}{2 \cdot a_2 \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_2 = \frac{40.6 \cdot 10^3 N}{2 \cdot 3mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 3mm = 51.11mm \Rightarrow l_{2nec} = 60mm;$$

5^0 $15 \cdot a_1 \le l_1 \le 60 \cdot a_1 \Leftrightarrow 52.5 < 110 < 210 \Rightarrow$ se verifică.

$15 \cdot a_2 \le l_2 \le 60 \cdot a_2 \Leftrightarrow 45 < 60 < 180 \Rightarrow$ se verifică.

$$\Rightarrow \begin{cases} a_1 = 3^5 mm; l_1 = 110mm; \\ a_2 = 3mm; l_2 = 60mm. \end{cases}$$

2.7.6. DIMENSIONAREA PRINDERII CU SUDURĂ PENTRU BARA 4-7

1^0 $N_s = \min(1.3 \cdot N_{ef}; N_{cap})$;

$1.3 \cdot N_{ef} = 1.3 \cdot 0.11kN = 0.143kN$;

$N_{cap} = A \cdot R = 1626mm^2 \cdot 220 \cdot 10^{-3} kN = 357.72kN$;

$\Rightarrow N_s = 0.143kN$.

Din considerente constructive se propun dimensiunile cordoanelor:

$\begin{cases} a_1 = 3mm; l_1 = 60mm; \\ a_2 = 3mm; l_2 = 60mm. \end{cases}$

2.7.7. DIMENSIONAREA PRINDERII CU SUDURĂ PENTRU BARA 6-7

1^0 $N_s = \min(1.3 \cdot N_{ef}; N_{cap})$;

$1.3 \cdot N_{ef} = 1.3 \cdot 0kN = 0kN$;

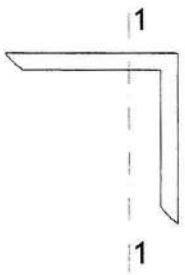
$N_{cap} = A \cdot R = 1164mm^2 \cdot 220 \cdot 10^{-3} kN = 256.08kN$;

$\Rightarrow N_s = 0kN$.

Din considerente constructive se propun dimensiunile cordoanelor:

$\begin{cases} a_1 = 3mm; l_1 = 60mm; \\ a_2 = 3mm; l_2 = 60mm. \end{cases}$

2.8. AMPLASAREA PLĂCUȚELOR DE SOLIDARIZARE



Observație:

$$i_1 = \sqrt{\frac{I_1}{A_{1PROFIL}}};$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2 \cdot I_1}{2 \cdot A_{1PROFIL}}} = \sqrt{\frac{I_1}{A_{1PROFIL}}} = i_1.$$

Pentru bare comprimate se vor alege minim două plăcuțe cu $l_1 \leq 40 \cdot i_1$.

Pentru bare întinse se va alege minim o plăcuță cu $l_1 \leq 80 \cdot i_1$.

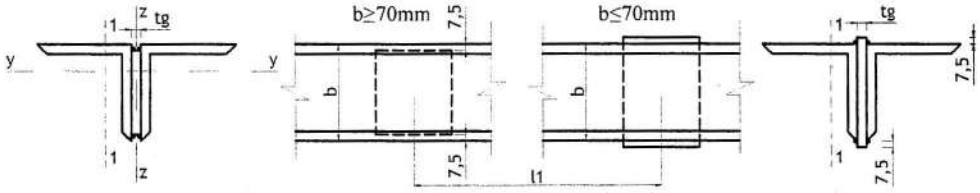
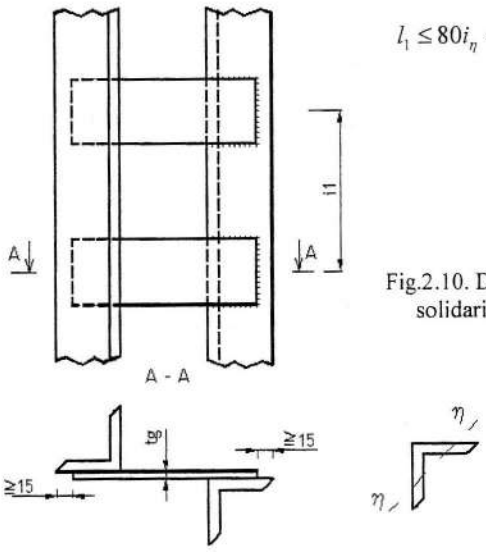


Fig.2.9. Alcătuirea și amplasarea plăcuțelor de solidarizare

1. Pentru barele: $B_{0\text{-}1}$;$B_{1\text{-}3}$;$B_{3\text{-}5}$;$B_{5\text{-}7}$:
   - acestea sunt bare comprimate $\Rightarrow$ minim 2 plăcuțe de solidarizare pe bară comprimată:
     $l_1 \le 40 \cdot i_1 \Leftrightarrow l_1 \le 40 \cdot 45.8 \Leftrightarrow l_1 \le 1832mm.$
2. Pentru barele: $B_{0\text{-}2}$;$B_{2\text{-}4}$;$B_{4\text{-}6}$:
   - acestea sunt bare întinse $\Rightarrow$ minim o plăcuță de solidarizare pe bară întinsă:
     $l_1 \le 80 \cdot i_1 \Leftrightarrow l_1 \le 80 \cdot 36.5 \Leftrightarrow l_1 \le 2920mm.$
3. Pentru barele: $B_{1\text{-}2}$;$B_{4\text{-}5}$:
   - acestea sunt bare comprimate $\Rightarrow$ minim 2 plăcuțe de solidarizare pe bară comprimată:
     $l_1 \le 40 \cdot i_1 \Leftrightarrow l_1 \le 40 \cdot 18.2 \Leftrightarrow l_1 \le 728mm.$
4. Pentru bara: $B_{3\text{-}4}$:
   - aceasta este o bară întinsă $\Rightarrow$ minim o plăcuță de solidarizare pe bară întinsă:
     $l_1 \le 80 \cdot i_1 \Leftrightarrow l_1 \le 80 \cdot 18.2 \Leftrightarrow l_1 \le 1456mm.$
5. Pentru bara: $B_{2\text{-}3}$:
   - aceasta este o bară comprimată $\Rightarrow$ minim 2 plăcuțe de solidarizare pe bară comprimată:
     $l_1 \le 40 \cdot i_1 \Leftrightarrow l_1 \le 40 \cdot 30.2 \Leftrightarrow l_1 \le 1208mm.$
6. Pentru bara: $B_{4\text{-}7}$(deşi această bară este întinsă, plăcuțele de solidarizare se dispun ca şi pentru o bară comprimată):
   - deşi aceasta este o bară întinsă $\Rightarrow$ minim 2 plăcuțe de solidarizare pe bară:
     $l_1 \le 40 \cdot i_1 \Leftrightarrow l_1 \le 40 \cdot 21.3 \Leftrightarrow l_1 \le 852mm.$
7. Pentru bara: $B_{6\text{-}7}$ (această bară nu este solicitată):
   - se prevăd plăcuțe de solidarizare la distanța: $l_1 \le 80 \cdot i_\eta \Leftrightarrow l_1 \le 936mm.$



$l_1 \le 80 i_\eta = 80 \cdot 11.7 = 936mm$

Fig.2.10. Dispunerea plăcuțelor de solidarizare pentru bara $B_{6\text{-}7}$

2.9. DIMENSIONARE JOANTE DE MONTAJ

2.9.1. JOANTA DE MONTAJ DE LA NODUL CENTRAL AL TĂLPII INFERIOARE:

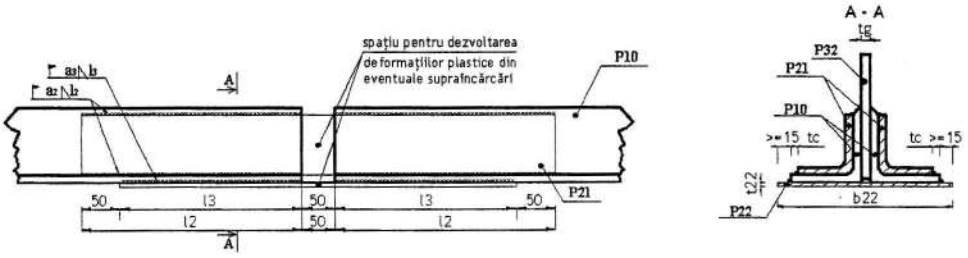


Fig.2.11. Joanta tălpii inferioare

1^0 Se stabileşte efortul de dimensionare al joantei

$N_j = \min(1.3 \cdot N_{ef}^{4-6}; N_{cap}^{4-6}); N_{cap}^{4-6} = A^{4-6} \cdot R.$

$1.3 \cdot N_{ef}^{4-6} = 1.3 \cdot 1193.8kN = 1551.94kN;$

$N_{cap}^{4-6} = A^{4-6} \cdot R = 5500mm^2 \cdot 220N/mm^2 \cdot 10^{-3} = 1210kN;$

$\Rightarrow N_j = 1210kN.$

2^0 Se calculează aria pieselor P_{21} (se vor realiza din acelaşi tip de cornier ca şi piesele P_{10}).

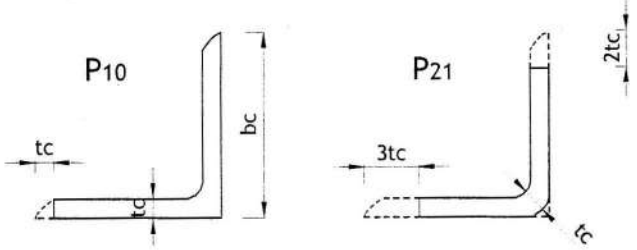


Fig.2.12. Realizarea pieselor P_{10} şi P_{21}

$A_{P21} = A_{P10} - 2 \cdot 5.5 \cdot t_c^2 = 5500mm^2 - 2 \cdot 5.5 \cdot 12^2 = 3916mm^2;$

3^0 Se stabileşte aria necesară a eclisei P_{22}:

$A_{P22}^{nec} = A_{P10} - A_{P21} = 5500mm^2 - 3916mm^2 = 1584mm^2.$

4^0 Se propune lăţimea eclisei P_{22}:

$b_{22} \geq t_g + 2 \cdot (b_c^{P10} - t_c) + 2 \cdot 15$

$\Leftrightarrow b_{22} \geq 15mm + 2 \cdot (120mm - 12mm) + 2 \cdot 15mm$

$\Leftrightarrow b_{22} \geq 261mm \Rightarrow b_{22} = 270mm.$

5^0 Se calculează grosimea piesei P_{22}:

$t_{22} = \frac{A_{P22}^{nec}}{b_{22}} = \frac{1584mm^2}{270mm} = 5.87mm \Rightarrow t_{22} = 6mm;$ dar, $t_{22} \geq 8mm \Rightarrow$ se alege $t_{22} = 8mm.$

6^0 Verificarea efortului din eclise:

Relația de verificarea este: $\boxed{\sigma_j = \frac{N_j}{A_{P22} + A_{P21}} \le R;}$

Ariile efective ale diferitelor eclise sunt:

$A_{P22} = b_{22} \cdot t_{22} = 270mm \cdot 8mm = 2160mm^2;$

$A_{P21} = 3916mm^2;$

$\Rightarrow \sigma_j = \frac{1210 \cdot 10^3 N}{(2160+3916)mm^2} = 199.14N/mm^2 < R = 220N/mm^2.$

$\Rightarrow$ verificarea este satisfăcută.

7^0 Se propun grosimile de calcul ale cordoanelor de sudură a_2 și a_3:

$a_2 \le 0.7 \cdot t_c \Leftrightarrow a_2 \le 10.5mm \Rightarrow$ se alege a_2 = 5mm;

$a_3 \le \min(0.7 \cdot t_c; 0.7t_{22}) \Leftrightarrow a_3 \le \min(10,5mm; 5.6mm) \Rightarrow$ se alege a_3 = 5mm.

8^0 Se calculează lungimile necesare pentru cordoanele de sudură:

$$l_2^{nec} = \frac{A_{P21}}{A_{P21} + A_{P22}} \cdot \frac{N_j}{4 \cdot a_2 \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_2 = \frac{3916mm^2}{(3916+2160)mm^2} \cdot \frac{1210 \cdot 10^3 N}{4 \cdot 5mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 5mm$$

$\Rightarrow l_2^{nec} = 269.95mm \Rightarrow l_2 = 270mm.$

R_f^s - rezistența la forfecare a sudurii în relief;

$R_f^s = 0.7 \cdot R \cong 150N/mm^2.$

$$l_3^{nec} = \frac{A_{P22}}{A_{P21} + A_{P22}} \cdot \frac{N_j}{2 \cdot a_3 \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_3 = \frac{2160mm^2}{(3916+2160)mm^2} \cdot \frac{1210 \cdot 10^3 N}{2 \cdot 5mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 5mm$$

$\Rightarrow l_3^{nec} = 296.77mm \Rightarrow l_3 = 300mm.$

9^0 Se verifică condițiile constructive:

Relațiile de verificare sunt: $\boxed{\begin{array}{l} 15 \cdot a_2 \le l_2 \le 60 \cdot a_2; \\ 15 \cdot a_3 \le l_3 \le 60 \cdot a_3; \\ l_2 \ge l_3 + 50mm. \end{array}}$

$15 \cdot a_2 \le l_2 \le 60 \cdot a_2 \Leftrightarrow 15 \cdot 5 \le 270 \le 60 \cdot 5 \Leftrightarrow 75 < 270 < 300;$

$15 \cdot a_3 \le l_3 \le 60 \cdot a_3 \Leftrightarrow 15 \cdot 5 \le 300 \le 60 \cdot 5 \Leftrightarrow 75 < 300 \le 300;$

$l_2 \ge l_3 + 50mm \Leftrightarrow 270 \ge 300 + 50 \Leftrightarrow 270 < 350.$

►Redimensionare.

Observație:

Pentru joanta de montaj de la nivelul tălpii întinse (tălpii inferioare) a fermei se impune $l_2 \ge l_3 + 50mm$ pentru a asigura intrarea în lucru a ecliselor cornier (piesele P_{21}) înaintea slăbirii pieselor P_{10}.

7^0 Propun: $a_2 = 4mm; a_3 = 5.5mm.$

8^0 Se calculează lungimile necesare pentru cordoanele de sudură:

$$l_2^{nec} = \frac{3916mm^2}{(3916+2160)mm^2} \cdot \frac{1210 \cdot 10^3 N}{4 \cdot 4mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 4mm = 332.94mm \Rightarrow l_2 = 340mm.;$$

$$l_3^{nec} = \frac{2160mm^2}{(3916+2160)mm^2} \cdot \frac{1210 \cdot 10^3 N}{2 \cdot 5.5mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 5.5mm = 271.7mm \Rightarrow l_2 = 280mm.;$$

9^0 Se verifică condiţiile constructive:

$15 \cdot a_2 \le l_2 \le 60 \cdot a_2 \Leftrightarrow 60 < 340 > 240;$

$15 \cdot a_3 \le l_3 \le 60 \cdot a_3 \Leftrightarrow 82.5 < 280 < 330;$

Deoarece $l_2 = 340 > 60 \cdot a_2 = 240$ se revine la 7^0 şi se propune altă valoare pentru a_2.

7^0 Se propune: $a_2 = 5.5mm;$

8^0 Se calculează lungimea necesară pentru cordonul 2:

$$l_2^{nec} = \frac{3916mm^2}{(3916+2160)mm^2} \cdot \frac{1210 \cdot 10^3 N}{4 \cdot 5.5mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 5.5mm = 247.3mm \Rightarrow l_2 = 250mm.;$$

$l_2 = 250mm < l_3 + 50mm = 330mm.$

Din considerente constructive se stabileşte lungimea cordonului 2 de sudură $l_2 = 330mm$ şi grosimea $a_2 = 5.5mm.$

9^0 Se verifică condiţiile constructive:

$15 \cdot a_2 \le l_2 \le 60 \cdot a_2 \Leftrightarrow 82.5 < 330 \le 330;$

$15 \cdot a_3 \le l_3 \le 60 \cdot a_3 \Leftrightarrow 82.5 < 280 < 330;$

$l_2 \ge l_3 + 50mm \Leftrightarrow 330 \ge 280 + 50 \Leftrightarrow 330 = 330.$

$$\Rightarrow \begin{cases} a_2 = 5.5mm; l_2 = 330mm; \\ a_3 = 5.5mm; l_3 = 280mm. \end{cases}$$

2.9.2. JOANTA DE MONTAJ DE LA NODUL CENTRAL AL TĂLPII SUPERIOARE:

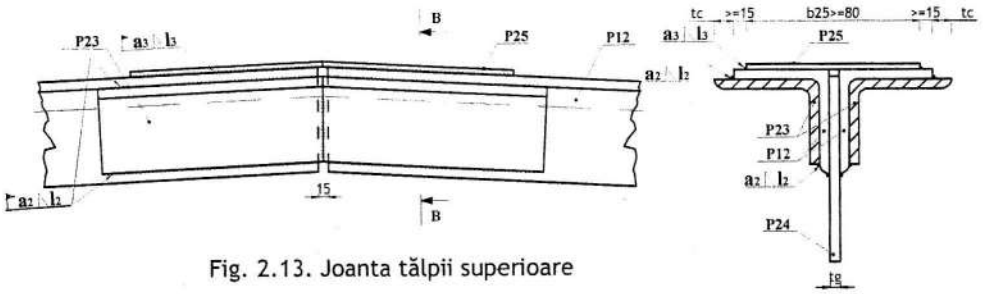


Fig. 2.13. Joanta tălpii superioare

1^0 Se stabileşte efortul de dimensionare al joantei:

$N_j = \min(1.3 \cdot N_{ef}^{5-7}; N_{cap}^{5-7}); N_{cap}^{5-7} = \varphi \cdot A^{4-6} \cdot R.$

$1.3 \cdot N_{ef}^{5-7} = 1.3 \cdot 1195.29kN = 1553.88kN;$

$N_{cap}^{5-7} = \varphi \cdot A^{5-7} \cdot R = 0.714 \cdot 8060mm^2 \cdot 220N/mm^2 \cdot 10^{-3} = 1266.06kN;$

$\Rightarrow N_j = 1266.06kN.$

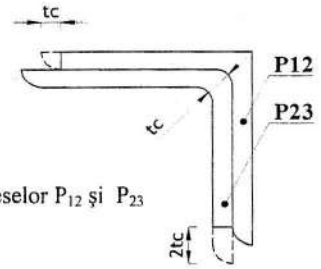


Fig.2.14. Realizarea pieselor P_{12} şi P_{23}

2^0 Se calculează aria pieselor P_{23}:

$A_{P23} = A_{P12} - 2 \cdot 2.5 \cdot t_c^{\,2} = 8060mm^2 - 2 \cdot 2.5 \cdot 14^2 = 7080mm^2;$

3^0 Se stabileşte aria necesară a eclisei P_{25}:

$A_{P25}^{\;nec} = A_{P12} - A_{P23} = 8060mm^2 - 7080mm^2 = 980mm^2.$

4^0 Se propune lăţimea eclisei P_{25}:

$b_{25} \le t_g + 2 \cdot (b_c^{\,P12} - t_c) - 2 \cdot 15; b_{25} \ge 80mm;$

$\Leftrightarrow b_{25} \le 15mm + 2 \cdot (150mm - 14mm) - 2 \cdot 15mm$

$\Leftrightarrow b_{25} \le 257mm \Rightarrow b_{25} = 250mm.$

5^0 Se calculează grosimea piesei P_{25}:

$t_{25} = \dfrac{A_{P25}^{\;nec}}{b_{25}} \ge 8mm; \dfrac{A_{P25}^{\;nec}}{b_{25}} = \dfrac{980mm^2}{250mm} = 3.92mm$

$\Rightarrow t_{25} = 4mm;$

dar, $t_{25} \ge 8mm \Rightarrow t_{25} = 8mm.$

6^0 Verificarea efortului din eclise:

Relaţia de verificarea este: $\boxed{\sigma_j = \dfrac{N_j}{A_{P23} + A_{P25}} \le R;}$

Ariile efective ale diferitelor eclise sunt:

$A_{P25} = b_{25} \cdot t_{25} = 250mm \cdot 8mm = 2000mm^2;$

$A_{P21} = 7080mm^2;$

$\Rightarrow \sigma_j = \dfrac{1266.06 \cdot 10^3 N}{(2000 + 7080)mm^2} = 139.43N/mm^2 < R = 220N/mm^2.$

$\Rightarrow$ verificarea este satisfăcută.

7^0 Se propun grosimile de calcul ale celor două tipuri de cordoane de sudură a_2 şi a_3:

$a_2 \le 0.7 \cdot t_c \Leftrightarrow a_2 \le 10.5mm \Rightarrow$ se alege $a_2 = 4.5mm;$

$a_3 \le \min(0.7 \cdot t_c; 0.7 \cdot t_{25}) \Leftrightarrow a_3 \le \min(10.5mm; 5.6mm) \Rightarrow$ se alege $a_3 = 5.5mm.$

8^0 Se calculează lungimile necesare pentru cordoanele de sudură:

$$l_2^{\;nec} = \frac{A_{P23}}{A_{P23} + A_{P25}} \cdot \frac{N_j}{4 \cdot a_2 \cdot R_f^{\,s}} + 2 \cdot a_2 = \frac{7080mm^2}{(7080 + 2000)mm^2} \cdot \frac{1266.06 \cdot 10^3 N}{4 \cdot 4.5mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 4.5mm$$

$\Rightarrow l_2^{\;nec} = 374.63mm \Rightarrow l_2 = 380mm.$

R_f^s - rezistența la forfecarea a sudurii în relief; $R_f^s = 0.7 \cdot R \cong 150N/mm^2$.

$$l_3^{nec} = \frac{A_{P25}}{A_{P23}+A_{P25}} \cdot \frac{N_j}{2 \cdot a_3 \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_3 = \frac{2000mm^2}{(7080+2000)mm^2} \cdot \frac{1266{,}06 \cdot 10^3 N}{2 \cdot 5.5mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 5.5mm$$

$$\Rightarrow l_3^{nec} = 180.01mm \Rightarrow l_3 = 190mm.$$

9^0 Se verifică condițiile constructive:

Relațiile de verificare sunt: $\boxed{\begin{matrix} 15 \cdot a_2 \le l_2 \le 60 \cdot a_2; \\ 15 \cdot a_3 \le l_3 \le 60 \cdot a_3; \end{matrix}}$

$15 \cdot a_2 \le l_2 \le 60 \cdot a_2 \Leftrightarrow 67.5 < 380 > 270;$

$15 \cdot a_3 \le l_3 \le 60 \cdot a_3 \Leftrightarrow 82.5 < 270 < 330;$

►Redimensionare.

7^0 Se propune: $a_2 = 5mm;$

8^0 Se calculează lungimea necesară pentru l_2:

$$l_2^{nec} = \frac{7080mm^2}{(7080+2000)mm^2} \cdot \frac{1266.06 \cdot 10^3 N}{4 \cdot 5mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 5mm = 339.06mm \Rightarrow l_2 = 340mm.;$$

$l_2 = 340mm > 60 \cdot a_2 = 330mm.$

►Redimensionare.

7^0 Se propune: $a_2 = 5.5mm;$

8^0 Se calculează lungimea necesară pentru l_2:

$$l_2^{nec} = \frac{7080mm^2}{(7080+2000)mm^2} \cdot \frac{1266.06 \cdot 10^3 N}{4 \cdot 5.5mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 5.5mm = 310.15mm \Rightarrow l_2 = 320mm.;$$

9^0 Se verifică condițiile constructive:

$15 \cdot a_2 \le l_2 \le 60 \cdot a_2 \Leftrightarrow 82.5 < 320 < 330;$

$$\Rightarrow \begin{cases} a_2 = 5.5mm; l_2 = 320mm; \\ a_3 = 5.5mm; l_3 = 270mm. \end{cases}$$

2.10. VERIFICAREA REZEMĂRII FERMEI

2.10.1. VERIFICAREA PIESEI DE REZEMARE LA STRIVIRE (piesa P_{28} din figura 2.16)

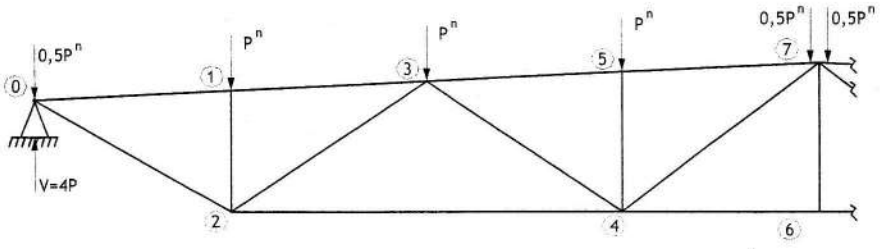


Fig. 2.15. Schemă statică fermă

Relația de verificare este: $\boxed{\frac{V}{l_{28}\cdot b_{28}} \le 1.5\cdot R;}$ unde l_{28}, b_{28} sunt dimensiunile în plan ale piesei de rezemare P_{28} (piesa P_{28} se mai numeşte şi „cuțit").

În acest caz : $\begin{cases} b_{28} = 60mm; \\ l_{28} = 120mm. \end{cases}$

$$\frac{V}{l_{28}\cdot b_{28}} = \frac{4\cdot 119.38\cdot 10^3 N}{120mm\cdot 60mm} = 66.32\frac{N}{mm^2} < 1.5\cdot R = 330\frac{N}{mm^2}$$

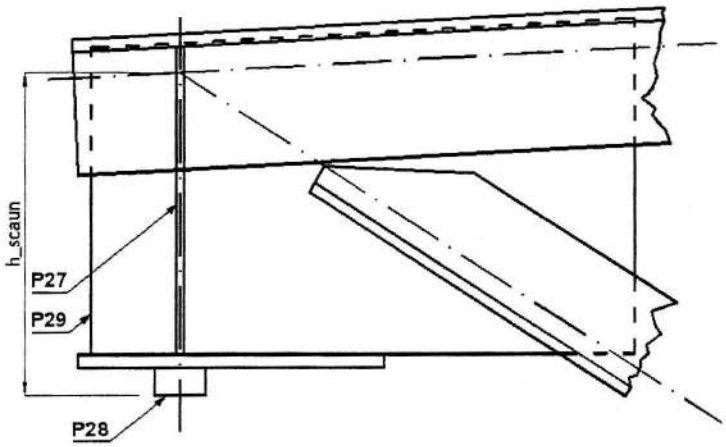


Fig.2.16. Alcătuire nod de reazem fermă

2.10.2. VERIFICAREA RIGIDIZĂRII VERTICALE A REZEMĂRII FERMEI (piesa P_{27})

1^0 Secțiunea de rezistență verificată are dimensiunile:

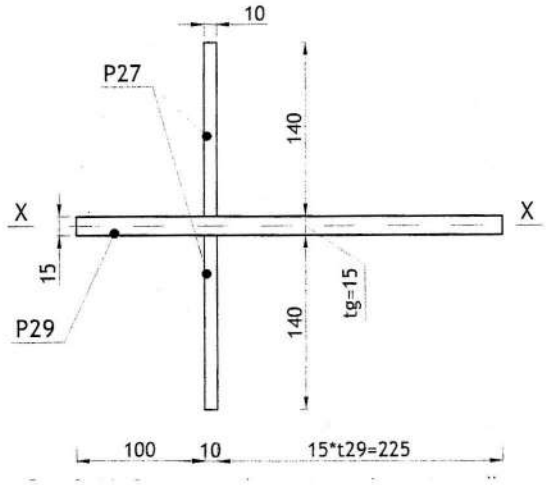
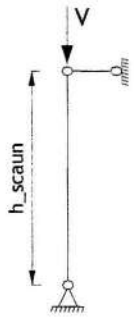


Fig.2.16. Dimensiunile secțiunii de rezistență

2^0 Se calculează aria secțiunii de rezistența :

$$A = 2 \cdot 10 \cdot 140 + 15 \cdot 335 = 7.825 \cdot 10^3 mm^2$$



3^0 Rigidizările se consideră ca un montant comprimat având lungimea de flambaj egala cu h_{scaun} și secțiunea transversală egală cu secțiunea de rezistență. (unde h_{scaun} = 358mm).

4^0 Se calculează raza de girație în raport cu axa x - x:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{20.32 \cdot 10^6 mm^4}{7.825 \cdot 10^3 mm^2}} = 50.96mm \cong 51mm;$$

$$I_x = \frac{290^3 \cdot 10}{12} = 20.32 \cdot 10^6 mm^4,$$

5^0. Se stabilește coeficientul de zveltețe:

$$\lambda_x = \frac{l_{fz}}{i_z} = \frac{358mm}{51mm} = 7$$

6^0. Se evaluează coeficientul de flambaj:

$$\lambda_x \xrightarrow{curba\_c} \varphi_x = 0.996$$

7^0. Verificare de stabilitate:

Relația de verificare este: $\boxed{\frac{V}{\varphi_x \cdot A} \le R}$

$$\frac{V}{\varphi_x \cdot A} \le R \Leftrightarrow \frac{4 \cdot 119.38 \cdot 10^3 N}{0.996 \cdot 7.825 \cdot 10^3 mm^2} = 61.27 \frac{N}{mm^2} << R = 220 \frac{N}{mm^2}$$

Observație:

Deoarece în majoritatea cazurilor zveltețea este foarte mică ($\varphi_x \to 1{,}00$) se acceptă să se efectueze numai o verificare de rezistență sub forma: $\frac{V}{A} < R$.

3. CALCUL GRINDĂ CALE DE RULARE

3.1. ALCĂTUIRE CALE DE RULARE

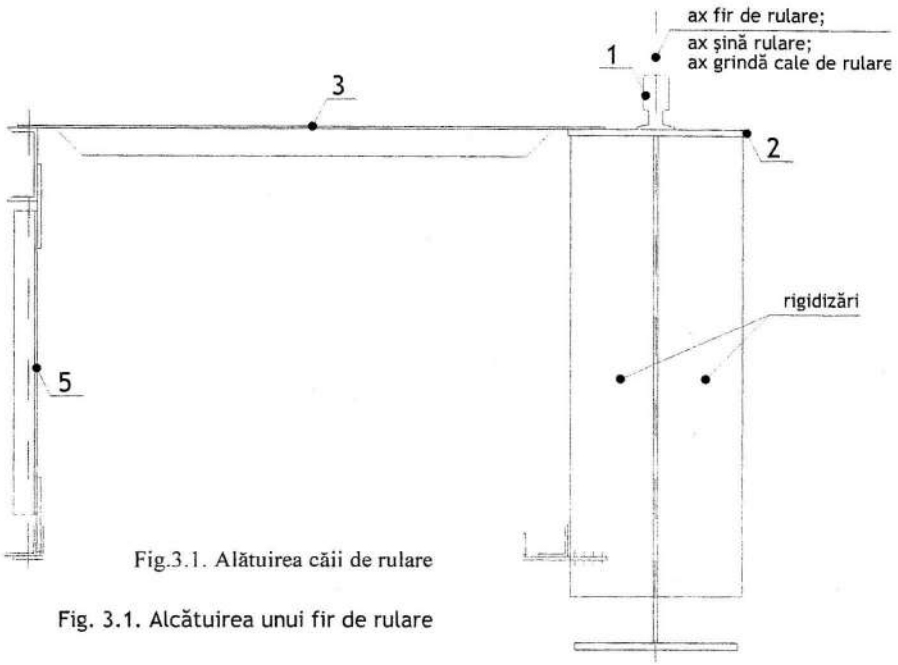


Fig.3.1. Alătuirea căii de rulare

Fig. 3.1. Alcătuirea unui fir de rulare

unde: 1 – *şină de rulare* (pe care circulă roţile podurilor rulante);

2 – *grinda căii de rulare* – element structural care preia toate încărcările verticale şi longitudinale generate de acţiunea podurilor rulante şi le transmite în continuare la stâlpii de cadru (încărcări verticale), respectiv la portal (încărcări longitudinale);

3 – *grindă de frânare* – preia încărcările transversale produse de frânarea şi demararea cărucioarelor rulante; îndeplineşte şi funcţia de pasarelă de circulaţie pentru personalul de întreţinere; joacă un rol important în conlucrarea spaţială a cadrelor transversale;

4 – *contravântuire orizontală* – constituie o legătură orizontală transversală la talpa inferioară a grinzii de rulare limitând vibraţiile acesteia produse de circulaţia podurilor şi poate fi folosită ca reazem intermediar pentru stâlpii de închidere ce susţin pereţii laterali;

5 – *grindă secundară* – susţine pasarela.

Cele patru grinzi (grinda căii de rulare, grinda de frânare, contravântuirea orizontală şi grinda secundară) alcătuiesc un element cu secţiune închisă cu rigiditate ridicată la răsucire.

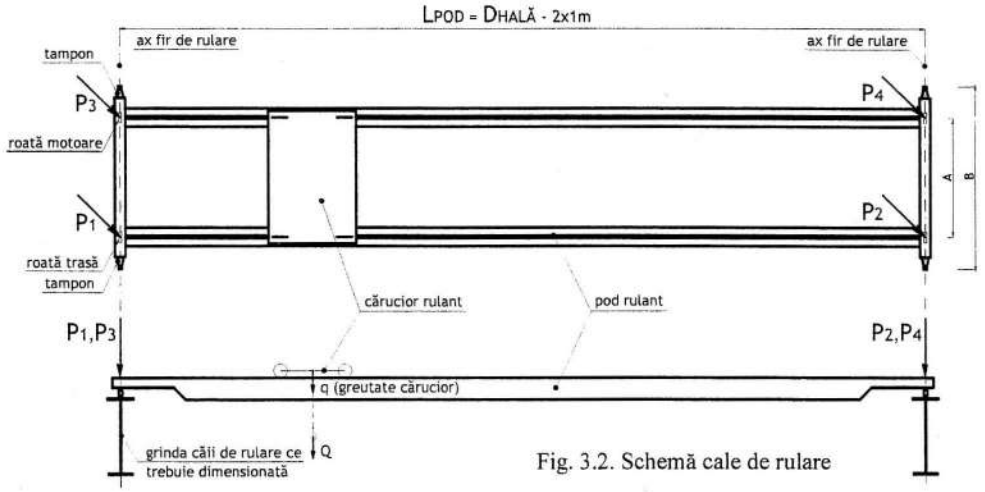


Fig. 3.2. Schemă cale de rulare

unde: c – distanța minimă față de axul grinzii căii de rulare la care se poate găsi sarcina ridicată;

P_1, P_2, P_3, P_4 – presiuni pe roțile podului rulant;
P_1, P_3 – presiuni maxime pe roată;
P_2, P_4 – presiuni minime pe roată;
Q – sarcină la cârlig;
A – ampatament;
B – distanța dintre tampoane;
L_{POD} – deschidere pod;
$D_{HALĂ}$ – deschidere hală.

Grinda căii de rulare se va dimensiona sub acțiunea presiunilor maxime pe roți generate de cele două poduri rulante cu care este echipată hala (poduri având capacitatea de ridicarea de $20tf$ și respectiv $40tf$).

3.2. SCHEMĂ CONSTRUCTIVĂ GRINDĂ CALE DE RULARE

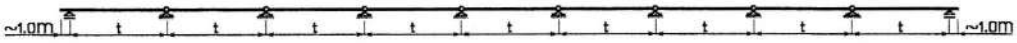


Fig.3.3. Schemă statică grindă cale de rulare

Grinda căii de rulare este alcătuită din nouă tronsoane: două tronsoane marginale și șapte tronsoane centrale. Fiecare tronson se calculează ca o grindă simplu rezemată cu deschiderea egală cu traveea "t".

3.3. SOLICITĂRI GENERATE DE ACȚIUNEA PODURILOR RULANTE

3.3.1. CONVOI DE FORȚE CU VALORI NORMATE („CONVOI NORMAT")

Convoiul de forțe cu valori normate se utilizează la verificări de stare limită a exploatării normale și pentru verificări la starea limită de oboseală.

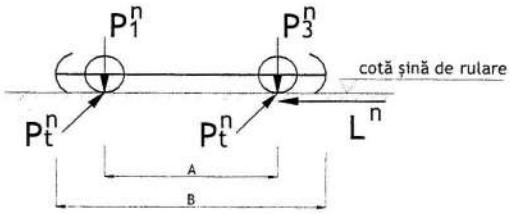


Fig.3.4. Convoi de forțe cu valori normate stabilit pentru un pod rulant

unde: *A* - ampatament (distanța dintre roțile extreme ale podului de pe aceeași grindă de rulare);
B - distanța dintre tampoane.

$$P_t^n = \frac{1}{20 \cdot n_r} \cdot (Q+q)$$

unde: Q – sarcina maximă la cârlig (egală cu capacitatea de ridicare a podului rulant);
q – greutatea căruciorului;
n_r – numărul de roți pe o grindă de rulare; $n_r = 2$;
P_t – forța transversală generată de frânarea/demararea căruciorului rulant (apare la toate roțile podului);

Observație: Formula de mai sus este valabilă pentru suspensia flexibilă a sarcinii (cabluri).

Pentru suspensia rigidă a sarcinii se folosește formula : $P_t^n = \frac{1}{10 \cdot n_r} \cdot (Q+q)$.

$$L^n = \frac{1}{10} \cdot P_{max}{}^n = \frac{1}{10} \cdot P_3^n$$

unde: L – forța longitudinală generată de frânarea/demararea podului rulant (apare numai la roțile motoare ale podului);

Raportul $\frac{1}{10}$ are semnificația unui coeficient de frecare.

Hala ce se dimensionează este echipată cu două poduri rulante, unul având capacitatea de ridicare de 20*tf*, iar celălalt având capacitatea de ridicarea de 40*tf*. Grupa de funcționare a podurilor rulante este grupa III.

Dimensiunile șinei ($h_{ȘINĂ}$ și respectiv $b_{ȘINĂ}$) pe care vor circula cele două poduri rulante sunt dictate de podul mai greu.

POD	A [*mm*]	B [*mm*]	a [*mm*]	$b_{ȘINĂ}$ [*mm*]	h [*mm*]	Q [*tf*]	P_1^n [*tf*]	P_2^n [*tf*]	P_3^n [*tf*]	P_4^n [*tf*]	$h_{ȘINĂ}$* [*mm*]
20 *tf*	4750	6050	250	60	2300	4.2	14.0	3.6	16.8	4.8	105
40 *tf*	5800	7100	275	80	2500	6.3	26.2	6.0	30.4	7.3	130

(* Valori ce corespund situației în care se utilizează șine KP.)

Prin urmare rezultă solicitările:

- pentru podul având capacitatea de ridicare de $20tf$:

$$P_t^n = \frac{1}{20 \cdot n_r} \cdot (Q+q); Q = 20tf; q = 4.2tf; n_r = 2;$$

$$P_t^n = \frac{1}{20 \cdot 2} \cdot (20+4.2) = 0.605tf.$$

$$L^n = \frac{1}{10} \cdot P_3^n = \frac{1}{10} \cdot 16.8 = 1.68tf.$$

- pentru podul având capacitatea de ridicare de $40tf$:

$$P_t^n = \frac{1}{20 \cdot n_r} \cdot (Q+q); Q = 40tf; q = 6.3tf; n_r = 2;$$

$$P_t^n = \frac{1}{20 \cdot 2} \cdot (40+6.3) = 1.1575tf.$$

$$L^n = \frac{1}{10} \cdot P_3^n = \frac{1}{10} \cdot 30.4 = 3.04tf.$$

Încărcări cu valori de calcul:

$$P_i = n_g \cdot \psi \cdot n_i \cdot P_i^n;$$

$$L = n_g \cdot \alpha \cdot n_i \cdot L^n;$$

$$P_t = n_g \cdot \psi \cdot n_i \cdot P_t^n.$$

unde: n_g – coeficient de grupare a încărcărilor variabile;
$n_g = 0.9$,atunci când se iau în calcul două poduri rulante;
$n_g = 1.0$,atunci când se ia în calcul un singur pod rulant.

Observație: Pentru calculul grinzii căii de rulare, adică pentru elementul direct solicitat, fiecare pod rulant reprezintă o încărcare variabilă. La calculul stâlpilor cadrului transversal şi al portalelor toate podurile rulante sunt considerate ca fiind o singură încărcare variabilă.

ψ şi α sunt coeficienţi dinamici.

Felul încărcării	Felul suspensiei sarcinii ridicate	Capacitate de ridicare pod	Valori ψ şi α	Grupa de funcţionare a podului				
				I	II	III	IV	V
încărcări verticale	flexibilă sau rigidă	oricare	ψ	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
încărcări orizontale (L şi P_t)	flexibilă	$5 \div 10tf$	α	1.5	1.8	2.2	2.5	
		$10.1 \div 20tf$		1.3	1.5	1.8	2.0	
		$20.1 \div 125tf$		1.2	1.3	1.4	1.5	
		$125.1 \div 225tf$		1.0	1.1	1.2	1.3	
		$>225tf$		1.0	1.0	1.1	1.1	
	rigidă	oricare		1.5				

Observație: În cazul în care se consideră două poduri rulante încărcate în aceeaşi deschidere a grinzii căii de rulare, valorile coeficienţilor ψ date în tabelul de mai sus, se vor reduce cu 0.1 (conform prevedrilor STAS 10101/0A-77).

Prin urmare pentru podurile de $20tf$ şi $40tf$ acţiomând simultan pe aceeaşi deschidere a grinzii căii de rulare rezultă $\psi = 1.3 - 0.1 = 1.2$ (grupa III de funcţionare). Dacă în anumite situaţii de calcul se consideră doar un singur pod rulant acţionând pe deschiderea grinzii, $\psi = 1.3$ (grupa III de funcţionare).

Pentru podul cu capacitatea de ridicare de $20tf$ rezultă $\alpha = 1.8$, iar pentru podul cu capacitatea de ridicare de $40tf$ rezultă $\alpha = 1.4$ (grupa III de funcţionare).

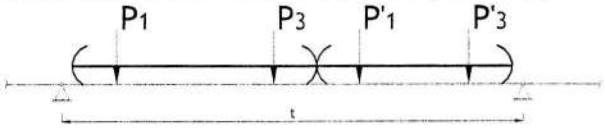
n_i – coeficient parţial de siguranţă;

n_i = 1.2 pentru încărcări verticale (presiuni pe roată);

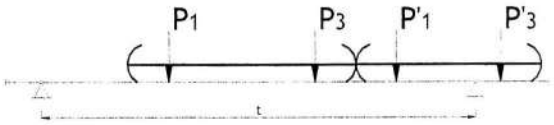
n_i = 1.3 pentru încărcări orizontale (L şi P_f).

Pentru calculul momentului maxim maximorum, podurile rulante se consideră cu tampoanele în contact (alipite). Stabilirea convoiului de forţe de calcul (Câte roţi încap pe deschiderea grinzii? Care din ipotezele de încărcare conduce la valoarea maximă a momentului maxim maximurum?) necesită analiza mai multor ipoteze de încărcare:

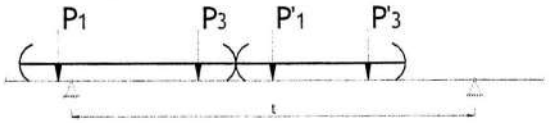
Ipoteza I (pe deschiderea grinzii căii de rulare acţionează patru forţe):



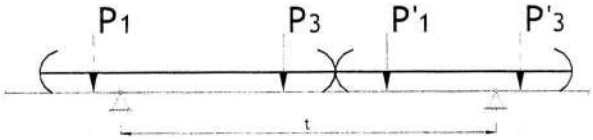
Ipoteza II (pe deschiderea grinzii căii de rulare acţionează trei forţe):



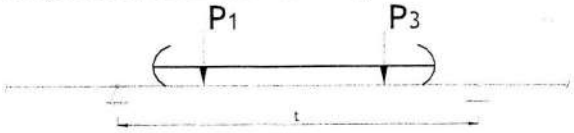
Ipoteza III (pe deschiderea grinzii căii de rulare acţionează alte trei forţe):



Ipoteza IV (pe deschiderea grinzii căii de rulare acţionează două forţe generate de poduri diferite):



Ipoteza V (pe deschiderea grinzii căii de rulare acţionează două forţe generate de acelaşi pod rulant, cel având capacitatea de ridicare mai mare):



Observaţie:

Pentru stabilirea valorilor de calcul a celor două presiuni pe roată P_1 şi P_3 luate în calcul în cazul ipotezei V se consideră următoarele valori ale coeficienţilor:

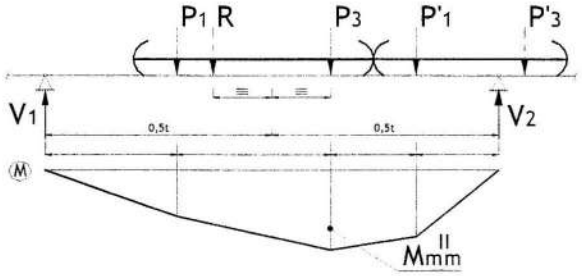
$$\psi = 1.3 \text{ şi } n_g = 1.0.$$

Astfel:
$$P_1 = n_g \cdot \psi \cdot n_i \cdot P_1^n = 40.87tf$$
$$P_3 = n_g \cdot \psi \cdot n_i \cdot P_3^n = 47.42tf$$

Pentru fiecare din ipotezele de calcul ce pot fi luate în considerare se determină câte un moment maxim maximorum. Momentul încovoietor cu valoarea cea mai mare va fi momentul maxim maximorum luat în considerare.

$$M_{mm} = \max\{M_{mm}^{\ I};...;M_{mm}^{\ V}\}$$

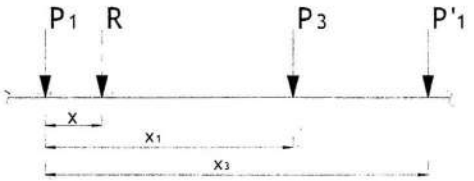
În vederea stabilirii momentului maxim maximorum (pentru o anumită ipoteză de încărcare) se vor avea în vedere etapele:



1^0 Se determină valoarea reacțiunii forțelor ce compun convoiul de forțe luat în calcul:

$$R = \sum P_i = P_1 + P_3 + P_1';$$

2^0 Se stabilește poziția rezultantei față de forțele din convoi:



$$x = \frac{\sum P_i x_i}{R} = \frac{P_1 \cdot 0 + P_3 \cdot x_1 + P_1' \cdot x_2}{R};$$

3^0 Se stabilește forța din convoi care este situată cel mai aproape de rezultantă (în cazul analizat este forța P_3);

4^0 Se așează convoiul de forțe în poziția în care mijlocul deschiderii grinzii împarte în două părții egale distanța dintre rezultantă și forța din convoi situată cel mai aproape de rezultantă;

5^0 Pentru această poziție a convoiului de forțe se calculează reacțiunile V_1 și V_2;

6^0 Se trasează diagrama de momente încovoietoare.

Observație: Rezultanta convoiului de forțe nu trebuie luată în considerare pentru calculul valorii momentului maxim maximorum, ea servește doar la stabilirea poziției forțelor în lungul deschiderii grinzii.

Cu forțele ce conduc la obținerea momentului $M_{mm} = \max\{M_{mm}^{\ I};...;M_{mm}^{\ V}\}$ se determină apoi solicitările necesare dimensionării secțiunii transversale a grinzii (vezi figura 3.5.).

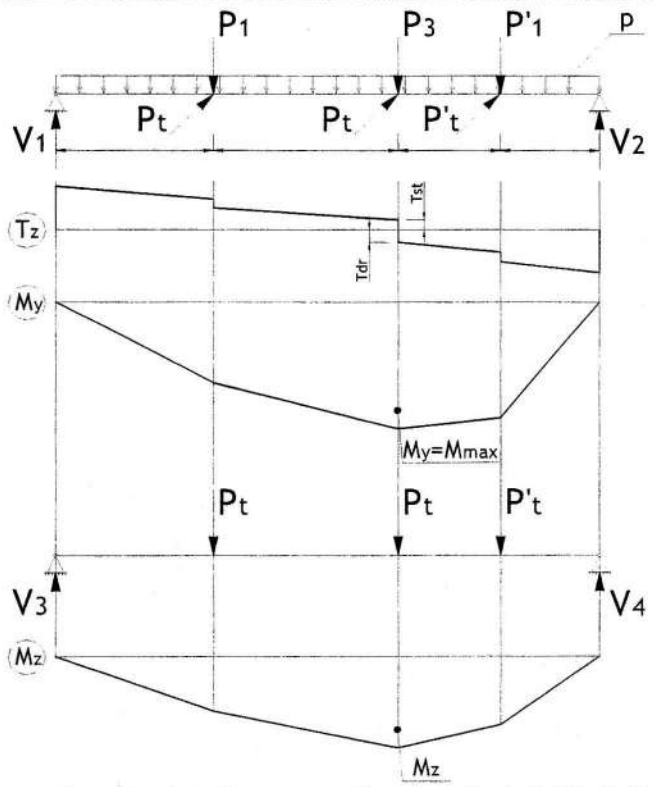


Fig.3.5. Calculul solicitărilor necesare dimensionării grinzii (M_y, T și M_z)

Observații: M_y este momentul încovoietor cu valoarea cea mai mare (pe lungimea grinzii);
Valorile T și M_z se înregistrează în aceeași secțiune cu M_y;
$T = \max \{T_{st}; T_{dr}\}$;
p este obținută din încărcările ce acționează asupra grinzii, care nu sunt produse de acțiunea podurilor rulante.
Forțele P_t acționează în aceleași secțiuni cu presiunile pe roți (forțele P și P').

3.3.2. CONVOI DE FORȚE CU VALORI DE CALCUL („CONVOI DE CALCUL")

Convoiul de forțe cu valori de calcul se utilizează la verificări de stări limită ultime (rezistență, stabilitate generală și locală).

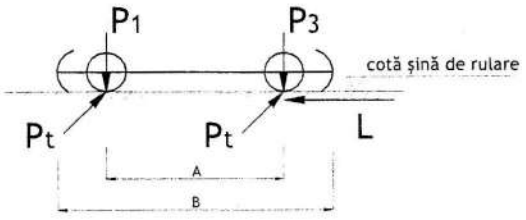


Fig.3.6. Convoi de forțe cu valori de calcul stabilit pentru un pod rulant

- pentru podul având capacitatea de ridicare de 40*tf*:

$P_1^{40} = n_g \cdot \psi \cdot n_i \cdot P_1^n = 0.9 \cdot 1.2 \cdot 1.2 \cdot 26.2 = 33.96tf$;

$P_2^{40} = n_g \cdot \psi \cdot n_i \cdot P_2^n = 0.9 \cdot 1.2 \cdot 1.2 \cdot 6.0 = 7.78tf$;

$P_3^{40} = n_g \cdot \psi \cdot n_i \cdot P_3^n = 0.9 \cdot 1.2 \cdot 1.2 \cdot 30.4 = 39.398tf$;

$P_4^{40} = n_g \cdot \psi \cdot n_i \cdot P_4^n = 0.9 \cdot 1.2 \cdot 1.2 \cdot 7.30 = 9.46tf$;

$P_t^{40} = n_g \cdot \psi \cdot n_i \cdot P_t^n = 0.9 \cdot 1.4 \cdot 1.3 \cdot 1.1575 = 1.096tf$;

$L^{40} = n_g \cdot \psi \cdot n_i \cdot L^n = 0.9 \cdot 1.4 \cdot 1.3 \cdot 3.04 = 4.98tf$;

- pentru podul având capacitatea de ridicare de 20*tf*:

$P_1^{20} = n_g \cdot \psi \cdot n_i \cdot P_1^n = 0.9 \cdot 1.2 \cdot 1.2 \cdot 14.0 = 18.14tf$;

$P_2^{20} = n_g \cdot \psi \cdot n_i \cdot P_2^n = 0.9 \cdot 1.2 \cdot 1.2 \cdot 3.6 = 4.67tf$;

$P_3^{20} = n_g \cdot \psi \cdot n_i \cdot P_3^n = 0.9 \cdot 1.2 \cdot 1.2 \cdot 16.8 = 21.77tf$;

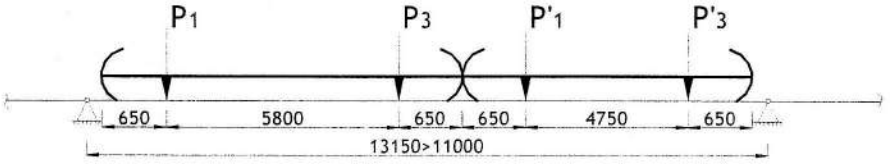
$P_4^{20} = n_g \cdot \psi \cdot n_i \cdot P_4^n = 0.9 \cdot 1.2 \cdot 1.2 \cdot 4.8 = 6.22tf$;

$P_t^{20} = n_g \cdot \psi \cdot n_i \cdot P_t^n = 0.9 \cdot 1.4 \cdot 1.3 \cdot 0.605 = 1.27tf$;

$L^{20} = n_g \cdot \psi \cdot n_i \cdot L^n = 0.9 \cdot 1.4 \cdot 1.3 \cdot 1.68 = 3.538tf$;

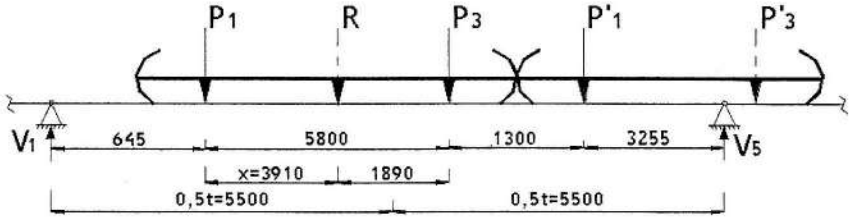
3.3.3. STABILIREA MOMENTULUI MAXIM MAXIMORUM

Ipoteza I:



Cele patru forțe nu încap pe deschiderea grinzii, care este egală cu 11.00*m*.
Concluzie: Ipoteza I nu se ia în considerare.

Ipoteza II:



$1^0\ R = \sum P_i = P_1 + P_3 + P_1' = 33.96 + 39.398 + 18.14 = 91.498tf$;

$2^0\ x = \dfrac{\sum P_i x_i}{R} = \dfrac{33.96tf \cdot 0mm + 39.398tf \cdot 5800mm + 18.14 \cdot 7100mm}{91.498tf} = \dfrac{357302.4tf \cdot mm}{91.98tf}$

$\Rightarrow x = 3909.03mm \cong 3910mm$;

$3^0\ \left(\sum M\right)_1 = 0 \Rightarrow 339.6kN \cdot 0.645m + 393.98kN \cdot 6.45m + 181.4kN \cdot 7.75m - V_5 \cdot 11m = 0$

$\Rightarrow V_5 = 378.733kN.$

$$\left(\sum M\right)_5 = 0 \Rightarrow -339.6kN \cdot 10.355m - 393.98kN \cdot 4.55m - 181.4kN \cdot 3.26m + V_1 \cdot 11m = 0$$

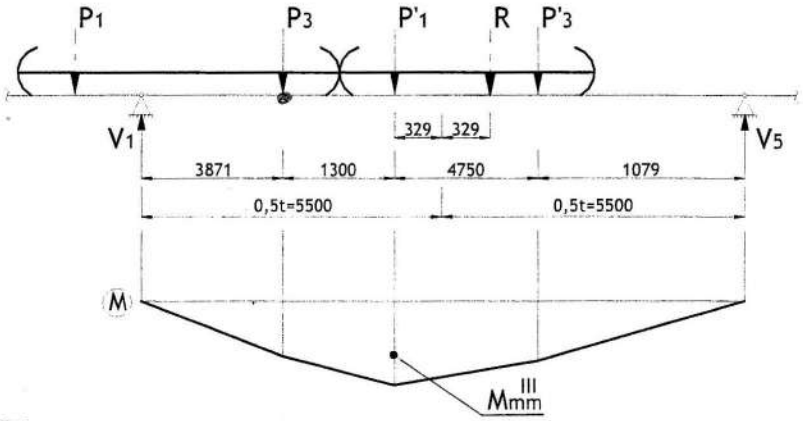
$$\Rightarrow V_1 = 536.41kN.$$

4^0 $M_{mm}^{st} = 536.41kN \cdot 6.445m - 339.6kN \cdot 5.8m = 1487.5kNm;$

$$M_{mm}^{dr} = -\left(-378.733kN \cdot 4.555m + 181.4kN \cdot 1.3m\right) = 1487.5kNm.$$

$$\Rightarrow M_{mm}^{II} = 1487.50kNm$$

Ipoteza III:



1^0 $R = \sum P_i = P_3 + P_1' + P_3' = 39.398 + 18.14 + 21.77 = 79.31tf;$

$$2^0\ x = \frac{\sum P_i x_i}{R} = \frac{39.398tf \cdot 0mm + 18.14tf \cdot 1300mm + 21.77 \cdot 6050mm}{79.31tf} = \frac{155290.5tf \cdot mm}{79.31tf}$$

$$\Rightarrow x = 1958mm;$$

$$3^0\ \left(\sum M\right)_1 = 0 \Rightarrow 393.98kN \cdot 3.871m + 181.4kN \cdot 5.171m + 217.7kN \cdot 9.921m - V_5 \cdot 11m = 0$$

$$\Rightarrow V_5 = 420.21kN.$$

$$\left(\sum M\right)_5 = 0 \Rightarrow -393.98kN \cdot 7.129m - 181.4kN \cdot 5.829m - 217.7kN \cdot 1.079m + V_1 \cdot 11m = 0$$

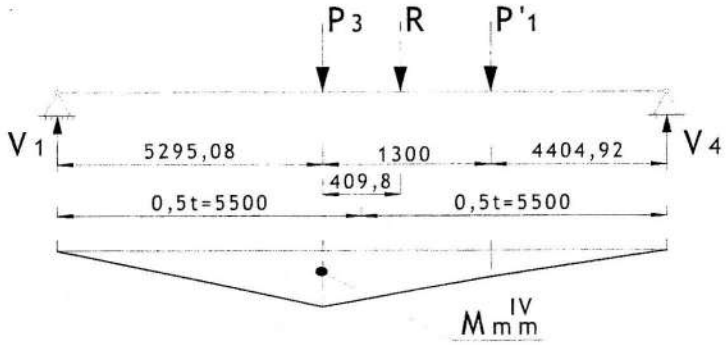
$$\Rightarrow V_1 = 372.81kN.$$

4^0 $M_{mm}^{st} = 372.81kN \cdot 5.171m - 393.98kN \cdot 1.3m = 1415.3kNm;$

$$M_{mm}^{dr} = -\left(-420.21kN \cdot 5.829m + 217.7kN \cdot 4.75m\right) = 1415.3kNm.$$

$$\Rightarrow M_{mm}^{III} = 1415.3kNm$$

Ipoteza IV:



$1^0\ R=\sum P_i=P_3+P_1'=39.398+18.14=57.54tf;$

$2^0\ x=\dfrac{\sum P_i x_i}{R}=\dfrac{39.398tf\cdot 0mm+18.14tf\cdot 1300mm}{57.54tf}=\dfrac{23582tf\cdot mm}{57.541tf}$

$\Rightarrow x=409.84mm;$

$3^0\ \left(\sum M\right)_1=0\Rightarrow 393.98kN\cdot 5.295m+181.4kN\cdot 6.595m-V_4\cdot 11m=0$

$\Rightarrow V_4=298.4kN.$

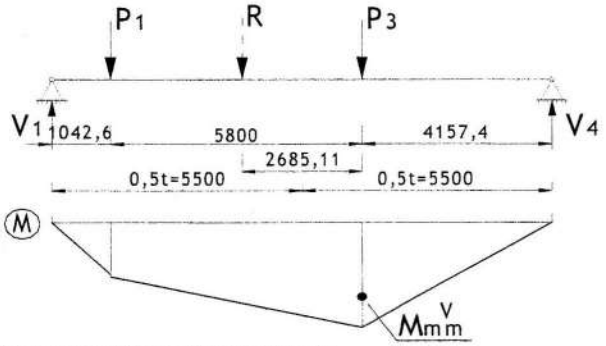
$\left(\sum M\right)_5=0\Rightarrow -393.98kN\cdot 5.705m-181.4kN\cdot 4.405m+V_1\cdot 11m=0$

$\Rightarrow V_1=276.98kN.$

$4^0\ M_{mm}^{\ st}=276.98kN\cdot 5.295m=1466.61kNm;$

$M_{mm}^{\ dr}=-\left(-298.4kN\cdot 5.705m+181.4kN\cdot 1.31m\right)=1466.61kNm.\Rightarrow M_{mm}^{\ IV}=1466.61kNm$

Ipoteza V:



Valorile presiunilor pe roată luate în calcul sunt:

$P_1=n_g\cdot\psi\cdot n_i\cdot P_1^n=1.0\cdot 1.3\cdot 1.1\cdot 26.2=37.47tf;$

$P_3=n_g\cdot\psi\cdot n_i\cdot P_3^n=1.0\cdot 1.3\cdot 1.1\cdot 30.4=43.47tf;$

$1^0\ R=\sum P_i=P_3+P_1=43.47tf+37.47tf=80.94tf;$

$2^0\ x=\dfrac{\sum P_i x_i}{R}=\dfrac{37.47tf\cdot 0mm+43.47tf\cdot 5800mm}{80.94tf}=\dfrac{252126tf\cdot mm}{80.941tf}$

$\Rightarrow x=3114.97mm\cong 3115mm;$

$3^0\ \left(\sum M\right)_1=0\Rightarrow 374.7kN\cdot 1.043m+434.7kN\cdot 6.843m-V_4\cdot 11m=0$

$\Rightarrow V_4=305.95kN.$

$\left(\sum M\right)_5=0\Rightarrow -374.7kN\cdot 9.957m-434.7kN\cdot 4.157m+V_1\cdot 11m=0$

$\Rightarrow V_1=503.45kN.$

$4^0\ M_{mm}^{\ st}=503.45kN\cdot 6.843m-374.7kN\cdot 5.8m=1271.84kNm;$

$M_{mm}^{\ dr}=-\left(-305.95kN\cdot 4.157m\right)=1271.84kNm.\Rightarrow M_{mm}^{\ V}=1271.84kNm$

Valoarea momentului maxim maximorum va fi cea înregistrată în ipoteza II:

$M_{\max im\_\max imorum}=\max\left\{M_{mm}^{\ II},M_{mm}^{\ III},M_{mm}^{\ IV},M_{mm}^{\ V}\right\};$

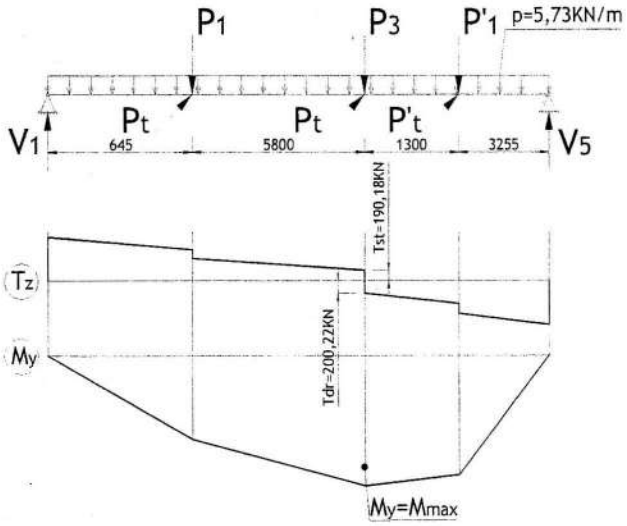
$M_{\max im\_\max imorum}=M_{mm}^{\ II}=1487.5kN\cdot m.$

3.4. EVALUAREA SOLICITĂRILOR PENTRU DIMENSIONAREA GRINZII CĂII DE RULARE

3.4.1. ALTE ÎNCĂRCĂRI (în afara celor produse de acțiunea podurilor rulante)

ÎNCĂRCARE	TIP	VALORI NORMATE [kN/m]	n_i	VALORI DE CALCUL [kN/m]
Greutate proprie grindă rulare	P	1.5	1.1	1.65
Greutate proprie şine + prinderi	P	0.8	1.1	0.88
Greutate proprie grindă frânare	P	0.4	1.1	0.44
Greutate proprie contravântuire orizontală	P	0.3	1.1	0.33
Greutate balustradă	P	0.1	1.1	0.11
Spațiu tehnic	C	1.0	1.2	1.2
Circulație pasarelă	V	0.8	1.4	1.12
		$p^n = 4.9$		$p = 5.73$

3.4.2. CALCUL SOLICITĂRI (S.L.U.)



$T = \max\{T_{st}; T_{dr}\}; T = 200.22kN$

$T_{st} = 190.18kN; T_{dr} = 200.22kN.$

T şi M_z se înregistrează în aceeaşi secțiune cu M_y.

$$\left(\sum M\right)_1 = 0 \Rightarrow 339.6kN \cdot 0.645m + 393.98kN \cdot 6.445m + 181.4kN \cdot 7.745m + 5.73kN/m \cdot \frac{(11m)^2}{2} -$$

$$-V_5 \cdot 11m = 0 \Rightarrow V_5 = 409.81kN.$$

$$\left(\sum M\right)_5 = 0 \Rightarrow -339.6kN \cdot 10.355m - 393.98kN \cdot 4.555m - 181.4kN \cdot 3.255 - 5.73kN/m \cdot \frac{(11m)^2}{2} +$$

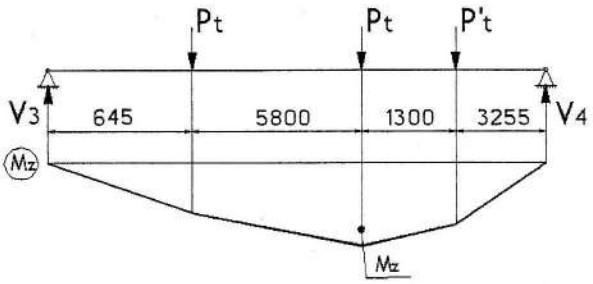
$$+V_1 \cdot 11m = 0 \Rightarrow V_1 = 562.38kN. \; +V_1 \cdot 11m = 0$$

$$T_z = \max\{T_{st}; T_{dr}\} = 200.22kN;$$

$$M_y = M_{\max} = 557.47kN \cdot 6.445m - 333.6kN \cdot 5.8m - 5.73kN/m \cdot \frac{(6.445m)^2}{2} = 1539kNm;$$

$$P_t = \frac{1}{20 \cdot 2} \cdot (Q+q) = \frac{1}{20 \cdot 2} \cdot (40tf + 6.3tf) = 1.16tf = 11.6kN;$$

$$P_t' = \frac{1}{20 \cdot 2} \cdot (Q+q) = \frac{1}{20 \cdot 2} \cdot (20tf + 4.2tf) = 0.61tf = 6.1kN.$$



Forţele P_t şi respectiv P'_t acţionează în aceleaşi secţiuni cu presiunile pe roţi P şi respectiv P' avute în vedere pentru calculul eforturilor M_y şi T.

$$\left(\sum M\right)_1 = 0 \Rightarrow 11.6kN \cdot 0.645m + 11.6kN \cdot 6.445m + 6.1kN \cdot 7.745m - V_4 \cdot 11m = 0$$

$$\Rightarrow V_4 = 11.77kN.$$

$$\left(\sum M\right)_5 = 0 \Rightarrow -11.6kN \cdot 10.355m - 11.6kN \cdot 4.555m - 6.1kN \cdot 3.255 + V_3 \cdot 11m = 0$$

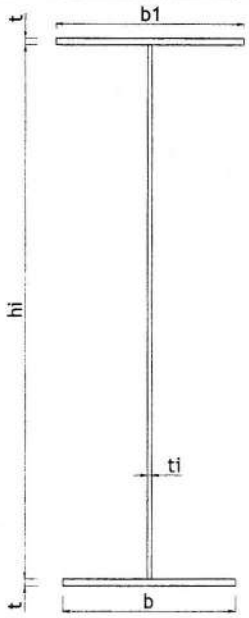
$$\Rightarrow V_3 = 17.53kN.$$

$$M_z = 17.53kN \cdot 6.445m - 11.6kN \cdot 5.8m = 45.7kN \cdot m;$$

Prin urmare solicitările necesare dimensionării secţiunii transversale a grinzii sunt:
$T = 200.22kN$, $M_y = 1539kNm$ şi $M_z = 45.7kNm$.

3.5. DIMENSIONARE SECŢIUNE TRANSVERSALĂ GRINDĂ CALE DE RULARE

Secţiunea transversală a grinzii căii de rulare se va dimensiona la momentul încovoietor maxim M_y. Pentru stabilirea secţiunii tălpii superioare a grinzii se ţine seama şi de efectul frânării podului L şi de efectul frânării/demarării cărucioarelor rulante (forţa $H = \frac{M_z}{d}$, care se obţine din descompunerea momentului M_z într-un cuplu de forţe; pentru semnificaţia distanţei d vezi figura 3.7.).



1^0 Se stabileşte un modul de rezistenţă necesar:

$$W_{nec} = \frac{M_y}{R}; R = 220N/mm^2;$$

$$W_{nec} = \frac{M_y}{R} = \frac{1539 \cdot 10^6 N \cdot mm}{220N/mm^2} = 6.995 \cdot 10^6 mm^3.$$

2^0 Se propune grosimea inimii $t_i \in \{7;8;9;10\}$

Se propune $t_i = 9mm$.

3^0 Se evaluează înălţimea inimii grinzii :

$$h_i = 1.15 \cdot \sqrt{\frac{W_{nec}}{t_i}} = 1.15 \cdot \sqrt{\frac{6.995 \cdot 10^6 mm^3}{9mm}} \cong 1010.93mm \Rightarrow$$

$\Rightarrow$ Se propune $h_i = 1100mm$;

4^0 Se verifică suplețea inimii.

Se recomandă: $\boxed{100 \le \frac{h_i}{t_i} \le 140}$.

Dacă $\frac{h_i}{t_i} < 100$ se revine la punctul 2^0 şi se alege o grosime de inimă t_i mai redusă.

Dacă $\frac{h_i}{t_i} > 140$ se revine la punctul 2^0 şi se alege o grosime de inimă t_i mai mare.

$$\frac{h_i}{t_i} = \frac{1100mm}{9mm} = 122.22$$

$100 \le \frac{h_i}{t_i} = 122.22 \le 140 \Rightarrow$ Relaţia este satisfăcută.

Observaţie: Pentru ca inima grinzii căii de rulare să nu fie redimensionată în urma verificării de stabilitate locală se recomandă ca $\frac{h_i}{t_i} < 125$.

5^0 Se stabileşte aria necesară pentru talpa inferioară a grinzii:

$$A_t^{nec} = \frac{W_{nec}}{h_i} - 0.16 \cdot h_i \cdot t_i = \frac{6.995 \cdot 10^6 mm^3}{1100mm} - 0.16 \cdot 1100mm \cdot 9mm = 4775.1mm^2.$$

6^0 Se descompune momentul M_z (generat de frânarea/demararea cărucioarelor rulante) într-un cuplu de forţe H:

$$H = \frac{M_z}{d} = \frac{45.7kN \cdot m}{1.4m} = 32.64kN.$$

7^0 Se stabileşte aria necesară a tălpii superioare:

$$A_{t\_sup}^{nec} = A_t^{nec} + \frac{H+L}{R} = 4775.1mm^2 + \frac{(32.64+49.8) \cdot 10^3 N}{220N/mm^2} \cong 5150mm^2.$$

8^0 Se propune grosimea tălpii t, astfel încât:

$\begin{cases} 1.5 \cdot t_i \le t \le 2.5 \cdot t_i; \\ t \in \{12;14;15;16;18;20\}. \end{cases}$ Se recomandă ca $t \le 16mm$ (pentru care $R = 220N/mm^2$).

Se propune $t = 14mm$.

9^0 Se stabileşte lăţimea tălpii superioare:

$$b_1^{nec} = \frac{A_{1\_sup}^{nec}}{t} = \frac{5150mm^2}{14mm} \cong 367.9mm \Rightarrow \text{ se propune } b_1 = 370mm > 340.$$

Pentru a asigura prinderea şinei de rulare de talpa superioară aceasta trebuie să aibă o lăţime de cel puţin $340mm$.

Dacă $b_1 < 340mm$ se revine la punctul 8^0 şi se propune o grosime mai redusă pentru talpă.

10^0 Se verifică suplеţea tălpii superioare:

Relaţia de verificare este: $\boxed{\frac{b_1'}{t} \le 15}$,unde $b_1' = 0.5 \cdot (b_1 - t_i)$.

$b_1' = 0.5 \cdot (370 - 9)mm = 180.5mm.$

$\frac{b_1'}{t} = \frac{180.5mm}{14mm} = 12.89 < 15 \Rightarrow$ Relaţia de verificare este satisfăcută.

Dacă $\frac{b_1'}{t} > 15$ se revine la punctul 8^0 şi se propune o grosime mai mare pentru talpă.

11^0 Se stabileşte lăţimea tălpii inferioare:

$$b_{nec} = \frac{A_i^{nec}}{t} = \frac{4775.1mm^2}{14mm} \cong 341mm \Rightarrow \text{ se propune } b = 350mm.$$

3.6. VERIFICĂRI DE REZISTENŢĂ (S.L.U.)

1^0 Se calculează poziţia centrului de greutate C.G. al secţiunii dimensionate:

$$z_G = \frac{\sum A_i \cdot z_i}{\sum A_i} = \frac{-370 \times 14 \cdot 557 + 350 \times 14 \cdot 557}{370 \times 14 + 1100 \times 9 + 350 \times 14} = -7.81mm$$

2^0 Se calculează momentul de inerţie în raport cu axa y - y.

$$I_y = \frac{14^3 \cdot 370}{12} + 14 \cdot 370 \cdot (549.19)^2 + \frac{14^3 \cdot 350}{12} + 14 \cdot 350 \cdot (564.81)^2$$
$$+ \frac{9 \cdot 1100^3}{12} + 9 \cdot 1100 \cdot (7.81)^2 = 4124.50 \cdot 10^6 mm^4;$$

3^0 a) Se calculează tensiunile σ_x în fibrele extreme şi se verifică dacă $\sigma_x \le R$;

Astfel: $\sigma_{(1)} \le R$;

Observaţie: Dacă $\sigma_{(1)} > R$ se măreşte cu $10 \div 20\,mm$ lăţimea tălpii superioare (b_1) şi se revine la punctul 1^0;

$\sigma_{(2)} \le R$;

Observaţie: Dacă $\sigma_{(2)} > R$ se măreşte cu $10 \div 20\,mm$ lăţimea tălpii inferioare (b) şi se revine la punctul 1^0.

b)Se calculează tensiunile tangenţiale τ şi se verifică: $\tau^{(T_z)} = \frac{T_z}{A_i \cdot h_i} \le R_f = 130N/mm^2$.

a) $\sigma_{(1)} \le R$; $\sigma_{(1)} = \sigma_{(1)}^{M_y} + \sigma_x^{L} + \sigma_x^{H}$;

$$\sigma_{\langle 1\rangle}^{M_y} = \frac{M_y}{I_y}\cdot z_{\langle 1\rangle} = \frac{1539\cdot 10^6 N\cdot mm}{4124.5\cdot 10^6 mm^4}\cdot 556.19mm = 207.54N/mm^2;$$

$$\sigma_x^{L} = \frac{L}{b_1\cdot t} = \frac{49.8\cdot 10^3 N}{370mm\cdot 14mm} = 9.62N/mm^2;$$

$$\sigma_x^{H} = \frac{H}{b_1\cdot t} = \frac{32.64\cdot 10^3 N}{370mm\cdot 14mm} = 6.30N/mm^2;$$

$$\sigma_{\langle 1\rangle} = \sigma_{\langle 1\rangle}^{M_y} + \sigma_x^{L} + \sigma_x^{H} = 207.54 + 9.62 + 6.30 = 223.46N/mm^2 > R = 220N/mm^2$$

$$\sigma_{\langle 2\rangle} \le R;\quad \sigma_{\langle 2\rangle} = \sigma_{x\langle 2\rangle}^{M_y};$$

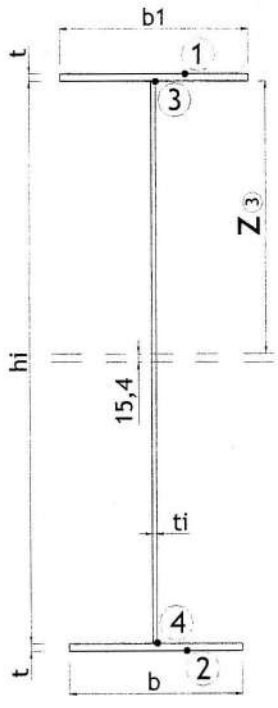
$$\sigma_{x\langle 2\rangle}^{M_y} = \frac{M_y}{I_y}\cdot z_{\langle 2\rangle} = \frac{1539\cdot 10^6 N\cdot mm}{4124.5\cdot 10^6 mm^4}\cdot 571.81mm = 213.37N/mm^2 < R = 220N/mm^2$$

Rezultă că trebuie mărită lățimea tălpii superioare. Se propune $b_1 = 390mm$. Se mărește și lățimea tălpii inferioare la $350mm$.

Se verifică suplețea tălpii superioare:

$b_1' = 0.5\cdot(390-9)mm = 190.5mm.$

$\frac{b_1'}{t} = \frac{190.5mm}{14mm} = 13.61 < 15 \Rightarrow$ Relația de verificare este satisfăcută.



1^0 Se calculează poziția centrului de greutate C.G. al secțiunii dimensionate:

$$z_G = \frac{\sum A_i\cdot z_i}{\sum A_i} = \frac{-390\times 14\cdot 557 + 350\times 14\cdot 557}{390\times 14 + 1100\times 9 + 350\times 14} = -15.40mm$$

2^0 Se calculează momentul de inerție în raport cu axa y - y:

$$I_y = \frac{14^3\cdot 390}{12} + 14\cdot 390\cdot(541.6)^2 + \frac{14^3\cdot 350}{12} + 14\cdot 350\cdot(572.4)^2 + \frac{9\cdot 1100^3}{12} + 9\cdot 1100\cdot(15.4)^2 = 4207.79\cdot 10^6 mm^4;$$

3^0 a) Se calculeză tensiunile σ_x în fibrele extreme și se verifică dacă $\sigma_x \le R$;

Astfel: $\sigma_{\langle 1\rangle} \le R;$

Observație: Dacă $\sigma_{\langle 1\rangle} > R$ se mărește cu $10 \div 20\,mm$ lățimea tălpii superioare (b_1) și se revine la punctul 1^0;

$\sigma_{\langle 2\rangle} \le R;$

Observație: Dacă $\sigma_{\langle 2\rangle} > R$ se mărește cu $10 \div 20\,mm$ lățimea tălpii inferioare (b) și se revine la punctul 1^0.

b)Se calculează tensiunile tangențiale τ și se verifică:

$$\tau^{(T_z)} = \frac{T_z}{A_i\cdot h_i} \le R_f = 130N/mm^2.$$

a) $\sigma_{\langle 1\rangle} \le R;\quad \sigma_{\langle 1\rangle} = \sigma_{\langle 1\rangle}^{M_y} + \sigma_x^{L} + \sigma_x^{H};$

$$\sigma_{\langle 1\rangle}^{M_y} = \frac{M_y}{I_y}\cdot z_{\langle 1\rangle} = \frac{1539\cdot 10^6 N\cdot mm}{4207.79\cdot 10^6 mm^4}\cdot 548.6mm = 200.65N/mm^2;$$

$$\sigma_x^{\,L} = \frac{L}{b_1\cdot t} = \frac{49.8\cdot 10^3 N}{390mm\cdot 14mm} = 9.12N/mm^2;$$

$$\sigma_x^{\,H} = \frac{H}{b_1\cdot t} = \frac{32.64\cdot 10^3 N}{390mm\cdot 14mm} = 5.97N/mm^2;$$

$$\sigma_{\langle 1\rangle} = \sigma_{\langle 1\rangle}^{M_y} + \sigma_x^{\,L} + \sigma_x^{\,H} = 200.65 + 9.12 + 5.97 = 215.74N/mm^2 < R = 220N/mm^2$$

$$\sigma_{\langle 2\rangle} \le R;\quad \sigma_{\langle 2\rangle} = \sigma_{x\langle 2\rangle}^{M_y};$$

$$\sigma_{x\langle 2\rangle}^{M_y} = \frac{M_y}{I_y}\cdot z_{\langle 2\rangle} = \frac{1539\cdot 10^6 N\cdot mm}{4207.79\cdot 10^6 mm^4}\cdot 579.4mm = 211.92N/mm^2 < R = 220N/mm^2$$

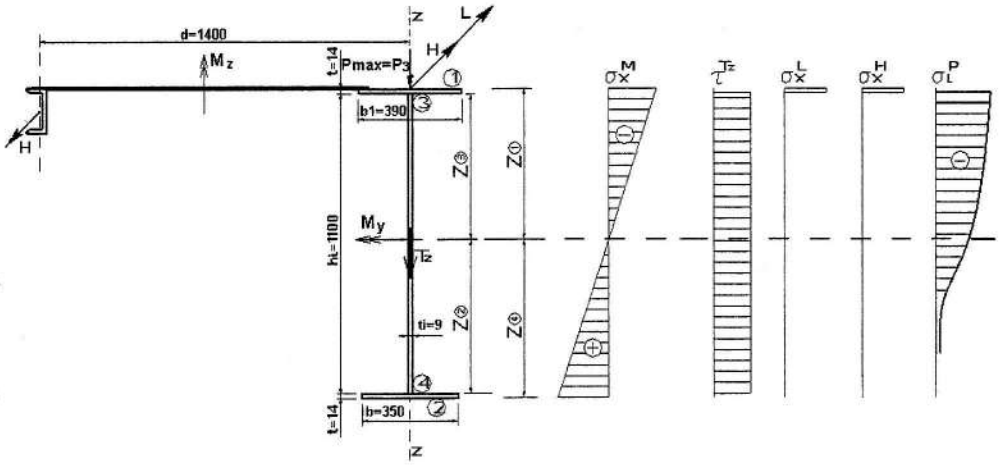


Fig.3.7. Diagrame de tensiuni pe secțiunea grinzii căii de rulare

b) $\tau^{(T_z)} = \dfrac{T_z}{A_i\cdot h_i} \le R_f = 130N/mm^2;$

$$\tau^{(T_z)} = \frac{200.22\cdot 10^3 N}{1100mm\cdot 9mm} = 20.22N/mm^2 < R_f = 130N/mm^2.$$

4^0 Se calculează tensiunile locale maxime produse de presiunea maximă pe roată și se verifică relația: $\sigma_l^{P_{max}} = \dfrac{P_{max}}{x\cdot t_i} \le R = 220N/mm^2.$

unde: $P_{max} = P_3 = 393.98kN;$

$x = 50mm + 2\cdot(h_S + t); x = 50mm + 2\cdot(130+14)mm = 338mm;$

$h = h_{ŞINĂ} = 130mm$ = înălțimea șinei pe care circulă podurile rulante.

$$\sigma_l^{P_{max}} = \frac{393.98\cdot 10^3 N}{338mm\cdot 9mm} = 129.5N/mm^2 < R = 220N/mm^2.$$

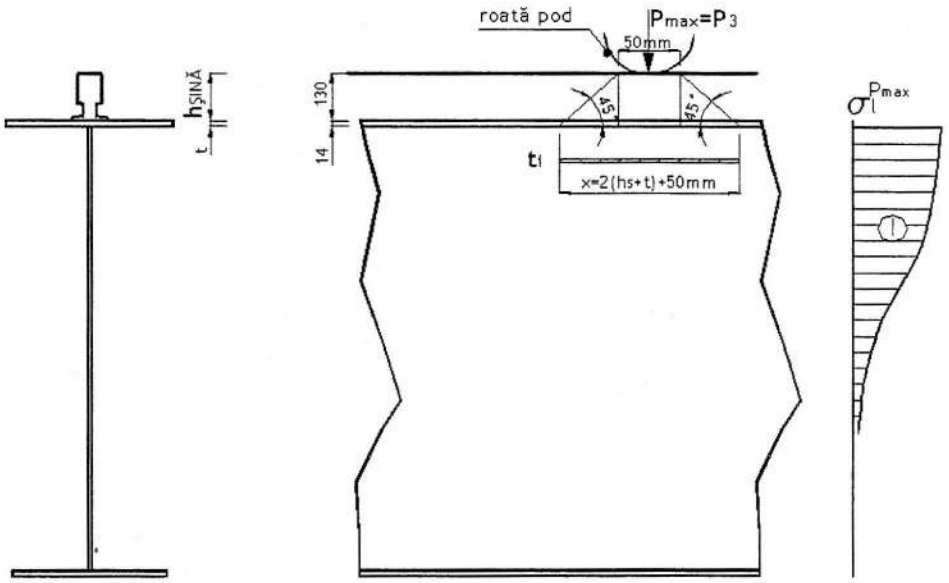


Fig.3.8 Determinarea lungimii de calcul *x* pe care se consideră distribuită presiunea transmisă de roata podului la inima grinzii

5⁰ Se calculează $\sigma_{ech\langle 3\rangle}$ și se verifică relația: $\sigma_{ech\langle 3\rangle}=\sqrt{\left(\sigma_{\langle 3\rangle}^{M_y}\right)^2+3\cdot\tau^2}\le 1.1\cdot R.$

$$\sigma_{\langle 3\rangle}^{M_y}=\frac{M_y}{I_y}\cdot z_{\langle 3\rangle}=\frac{1539\cdot 10^6 N\cdot mm}{4207.79\cdot 10^6 mm^4}\cdot 534.6mm=195.53N/mm^2;$$

$$\tau=\tau^{T_z}=20.22N/mm^2;$$

$$\sigma_{ech\langle 3\rangle}=\sqrt{(195.53)^2+3\cdot(20.22)^2}=198.64N/mm^2\le 1.1\cdot R=242N/mm^2.$$

6⁰ Se calculează tensiunea echivalentă ținând seama de tensiunea locală $\sigma_{ech}^{\ l}$ și apoi se verifică relația: $\sigma_{ech}^{\ l}=\sqrt{\left(\sigma_l^{P_{max}}\right)^2+3\cdot\tau^2}\le 1.1\cdot R.$

$$\sigma_{ech}^{\ l}=\sqrt{(129.5)^2+3\cdot(20.22)^2}=134.2N/mm^2\le 1.1\cdot R=242N/mm^2.$$

7⁰ Se calculează $\sigma_{ech\langle 4\rangle}$ și se verifică relația: $\sigma_{ech\langle 4\rangle}=\sqrt{\left(\sigma_{\langle 4\rangle}^{M_y}\right)^2+3\cdot\tau^2}\le 1.1\cdot R.$

$$\sigma_{\langle 4\rangle}^{M_y}=\frac{M_y}{I_y}\cdot z_{\langle 4\rangle}=\frac{1539\cdot 10^6 N\cdot mm}{4207.79\cdot 10^6 mm^4}\cdot 565.4mm=206.80/mm^2;$$

$$\tau=\tau^{T_z}=20.22N/mm^2;$$

$$\sigma_{ech\langle 4\rangle}=\sqrt{(206.80)^2+3\cdot(20.22)^2}=209.75N/mm^2\le 1.1\cdot R=242N/mm^2.$$

3.7. VERIFICAREA STABILITĂȚII LOCALE A INIMII GRINZII DE RULARE (S.L.U.)

Relația de verificare este: $\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}}+\frac{\sigma_l}{\sigma_{lcr}}\right)^2+\left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} \le 0.9$

$\sigma_{cr};\sigma_{lcr};\tau_{cr}$; sunt tensiuni critice determinate în teoria stabilității elastice.

Tensiunea σ_l se determină analog cu punctul 4^0 de la verificarea de rezistență .

σ este o tensiune de compresiune calculată pe linia sudurii de prindere a inimii de talpă cu valoarea medie a momentului încovoietor calculat pe lungimea panoului de inimă verificat.

τ este o tensiune de forfecare calculată cu valoarea medie a forței tăietoare pe lungimea panoului de inimă verificat.

Verificarea de stabilitate locală a inimii grinzii se efectuează pe baza stărilor de eforturi obținute din încărcarea grinzii cu convoiul de forțe ce conduce la momentul maxim maximorum în poziția forțelor ce conduce la atingerea acestui moment.

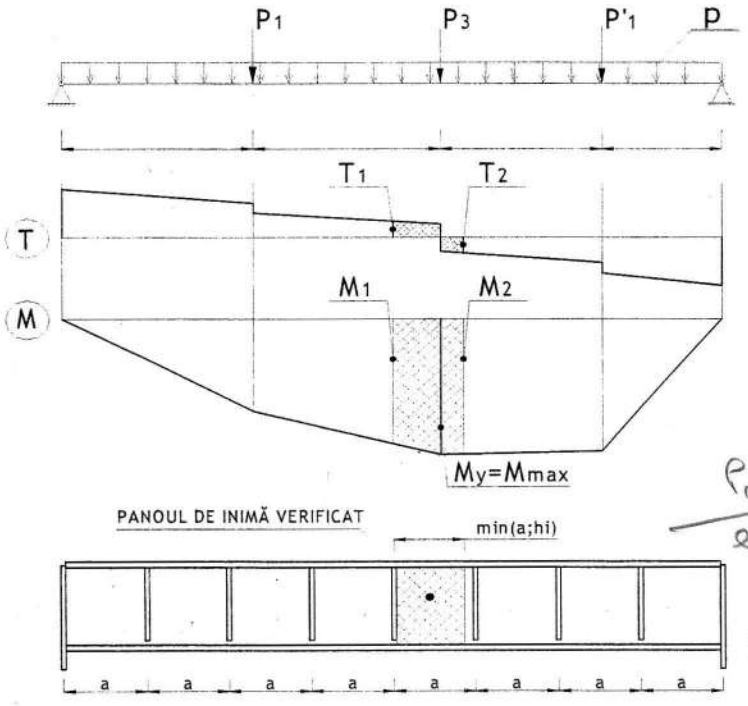


Fig.3.9. Determinarea panoului de inimă ce va fi verificat

Observație:

În cazul de față $a = h_i = 1100mm$. Prin urmare panoul de inimă verificat va avea lungimea egală cu distanța „a" dintre două rigidizări transversale consecutive.

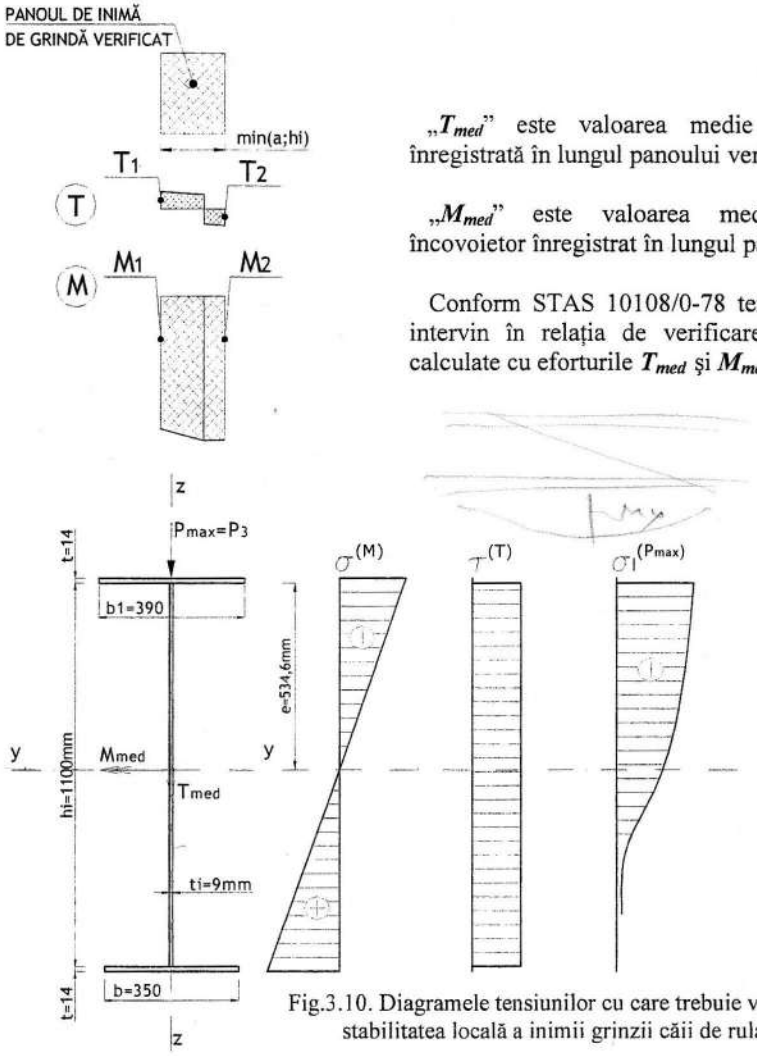


Fig.3.10. Diagramele tensiunilor cu care trebuie verificată stabilitatea locală a inimii grinzii căii de rulare

„T_{med}" este valoarea medie a forței tăietoare înregistrată în lungul panoului verificat.

„M_{med}" este valoarea medie a momentului încovoietor înregistrat în lungul panoului verificat.

Conform STAS 10108/0-78 tensiunile σ și τ, ce intervin în relația de verificare la voalare trebuie calculate cu eforturile T_{med} și M_{med}.

$$\sigma = \frac{M_{med}}{I_y} \cdot e;$$

$$\tau = \frac{T_{med}}{t_i \cdot h_i};$$

Pentru un calcul rapid în mod simplificat (dar acoperitor) în locul tensiunilor determinate cu M_{med} și T_{med} se vor folosi tensiunile $\sigma_{(3)} = \frac{M_y}{I_y} \cdot z_{(3)}$ și $\tau = \frac{T_z}{t_i \cdot h_i}$ calculate la verificările de rezistență. Acestea sunt determinate pe baza unor eforturi mai mari: $M_y = M_{max} > M_{med}$ și respectiv $T_z > T_{med}$. Dacă relația de verificare a stabilității locale a inimii grinzii este satisfăcută pentru aceste tensiuni, ea va fi sigur îndeplinită și de tensiunile σ și τ ce corespund eforturilor M_{med} și T_{med} (care sunt mai mici). În acest sens se consideră:

$$\tau = \frac{T_z}{t_i \cdot h_i} = 20.22 \frac{N}{mm^2};$$

$$\sigma = \sigma^{(M_y)}{}_{x(3)} = \frac{M_y}{I_y} \cdot z_{(3)} = 195.53 \frac{N}{mm^2}.$$

Tensiunea τ_{cr} se stabileşte cu relaţia: $\boxed{\tau_{cr}=\left(1250+\frac{950}{\alpha^2}\right)\cdot\left(\frac{t_i}{d}\right)^2\cdot 10^3}$

$$\alpha=\frac{\max\{a_i;h_i\}}{\min\{a_i;h_i\}}=\frac{1100mm}{1100mm}=1;$$

$$d=\min\{a_i;h_i\}=1100mm;$$

$$\tau_{cr}=\left(1250+\frac{950}{1}\right)\cdot\left(\frac{9mm}{1100mm}\right)^2\cdot 10^3=147.27\frac{N}{mm^2}.$$

Pentru determinarea tensiunilor σ_{cr} şi σ_{icr} trebuie calculat coeficientul 'γ':

$$\gamma=c\cdot\frac{b_1}{h_i}\cdot\left(\frac{t}{t_i}\right)^3=2.0\cdot\frac{390mm}{1100mm}\cdot\left(\frac{14mm}{9mm}\right)^3=2.67$$

unde: c = coeficient ce ţine seama de modul de prindere al şinei de talpa grinzii căii de rulare; când şina nu este sudată de talpa grinzii c = 2.0.

1^0. dacă $\frac{a}{h_i}\le 0.8$:

$$\sigma_{cr}=k_0\cdot\left(\frac{t_i}{2\cdot e}\right)^2\cdot 10^3;$$

$$\sigma_{icr}=k_1\cdot\left(\frac{t_i}{a}\right)^2\cdot 10^3;$$

unde: e = înălţimea comprimată a inimii grinzii (vezi figura 3.10.)

k_0 este obţinut din tabelul 3.1 în funcţie de γ, iar k_1 este obţinut din tabelul 3.4 în funcţie de γ şi de $\frac{a}{h_i}$ (în loc de $\frac{a}{h_0}$).

2^0. Dacă $\frac{a}{h_i}>0.8$ se calculează raportul $\frac{\sigma_l}{\sigma}$ şi se compară cu valorile limită din tabelul 3.2.

2.1. Dacă $\frac{\sigma_l}{\sigma}$ e mai mic decât valorile limită din tabelul 3.2 se folosesc relaţiile:

$$\sigma_{cr}=k_0\cdot\left(\frac{t_i}{2\cdot e}\right)^2\cdot 10^3;$$

$$\sigma_{lcr}=k_1\cdot\left(\frac{t_i}{\frac{a}{2}}\right)^2\cdot 10^3.$$

0,88

unde: k_0 se obţine din tabelul 3.1 în funcţie de γ ;

k_1 se obţine din tabelul 3.4 în funcţie de γ şi $\frac{a}{2\cdot h_i}$ (în loc de $\frac{a}{h_0}$).

2.2. Dacă $\frac{\sigma_l}{\sigma}$ e mai mare decât valorile limită din tabelul 3.2 se folosesc relaţiile:

$$\sigma_{cr}=k_2\cdot\left(\frac{t_i}{2\cdot e}\right)^2\cdot 10^3;$$

Dacă $\begin{cases} \frac{a}{h_i} \le 2 \Rightarrow \sigma_{lcr} = k_1 \cdot \left(\frac{t_i}{a}\right)^2 \cdot 10^3; \\ \frac{a}{h_i} \ge 2 \Rightarrow \sigma_{lcr} = k_1 \cdot \left(\frac{t_i}{2 \cdot h_i}\right)^2 \cdot 10^3; \end{cases}$

unde: k_2 se va obține din tabelul 3.3 în funcție de $\frac{a}{2 \cdot e}$ (în loc de $\frac{a}{h_0}$);

k_1 se obține din tabelul 3.4 în funcție de γ și $\frac{a}{h_i}$ (în loc de $\frac{a}{h_0}$).

$\gamma = 2.67;$

$\frac{a}{h_i} = 1;$

$$\frac{\sigma_l}{\sigma} = \frac{116.56 \frac{N}{mm^2}}{193.70 \frac{N}{mm^2}} = 0.60$$

Acest raport este mai mare decât valoarea limită din tabelul 3.2 care este 0.156. Rezultă că tensiunile σ_{cr} și σ_{lcr} se calculează cu formulele:

$$\sigma_{cr} = k_2 \cdot \left(\frac{t_i}{2 \cdot e}\right)^2 \cdot 10^3;$$

$$\frac{a}{h_i} < 2 \Rightarrow k_1 \cdot \left(\frac{t_i}{a}\right)^2 \cdot 10^3;$$

k_2 se obține prin interpolare din tabelul 3.3 în funcție de $\frac{a}{2 \cdot e} = \frac{1100mm}{2 \cdot 534.6mm} = 1.03$

Prin interpolare liniară rezultă $k_2 = 8421$.

k_1 se obține prin interpolare din tabelul 3.4 în funcție de $\gamma = 2.67$ și raportul $\frac{a}{h_i} = 1.00$

Prin interpolare rezultă $k_1 = 4364$.

$$\sigma_{cr} = k_2 \cdot \left(\frac{t_i}{2 \cdot e}\right)^2 \cdot 10^3 = 8421 \cdot \left(\frac{9mm}{2 \cdot 534.6mm}\right)^2 \cdot 10^3 = 596.67 \frac{N}{mm^2};$$

$$\sigma_{lcr} = k_1 \cdot \left(\frac{t_i}{a}\right)^2 \cdot 10^3 = 4364 \cdot \left(\frac{9mm}{1100mm}\right)^2 \cdot 10^3 = 292.14 \frac{N}{mm^2}.$$

Relația de verificare a stabilității locale a inimii grinzii este:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_l}{\sigma_{lcr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{193.70}{596.67} + \frac{116.56}{291.14}\right)^2 + \left(\frac{20.22}{147.27}\right)^2} = 0.74 < 0.9$$

$\Rightarrow$ Relația de verificare este satisfăcută.

TABEL 3.1.

γ	≤ 0.8	1.0	2.0	4.0	6.0	10.0	30.0
k_0	6300	6620	7000	7270	7320	7370	7460

TABEL 3.2.

Grinzi cu secțiune simetrică									
TIPUL GRINZII	γ	valorile limită ale raportului $\frac{\sigma_i}{\sigma}$ pentru $\frac{a}{h_0}$ egal cu:							
		≤ 0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	≥ 2.0
SUDATE	≤ 1	0	0.146	0.183	0.267	0.359	0.445	0.540	0.618
	2	0	0.109	0.169	0.277	0.406	0.543	0.652	0.799
	4	0	0.072	0.129	0.281	0.479	0.711	0.930	1.132
	5	0	0.066	0.127	0.288	0.536	0.874	1.192	1.468
	10	0	0.059	0.122	0.296	0.574	1.002	1.539	2.154
	≥ 30	0	0.047	0.112	0.300	0.63	1.283	2.249	3.939
NITUITE	-	0	0.121	0.184	0.378	0.643	1.131	1.614	2.347

TABEL 3.3.

Valoarea coeficientului k_2								
$\frac{a}{h_0}$	≤ 0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	≥ 2.0
k_2	6300	7780	8230	9500	11100	13020	15250	17790

TABEL 3.4.

γ	Valoarea coeficientului k_1 pentru grinzi sudate pentru $\frac{a}{h_0}$ egal cu:								
	≤ 0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	≥ 2
≤ 1	2420	2610	3100	3780	4650	5690	6860	8170	9570
2	2520	2740	3380	4280	5390	6750	8230	9770	11700
4	2590	2800	3480	4530	5910	7620	9500	11530	13670
6	2600	2840	3520	4640	6110	8040	10230	12480	14800
10	2610	2860	3550	4720	6300	8340	10710	13300	16080
≥ 30	2620	2870	3580	4810	6500	8750	11300	14330	17570
OBSERVAȚIE: Pentru grinzi nituite, k_1 se ia pentru γ = 1.0.									

Observație: Dacă verificarea la stabilitate locală a inimii grinzii, cu valorile tensiunilor σ și τ, folosite și la verificările de rezistență nu este satisfăcută, se va efectua verificarea cu tensiunile medii σ și τ (conform STAS 10108/0-78) și numai după aceea se va modifica secțiunea grinzii sau dispunerea rigidizărilor.

3.8. VERIFICARE DE SĂGEATĂ (S.L.E.N)

Relația de verificare este: $\boxed{f_{max} \leq f_{admisibil} = \frac{t}{600}}$

Pentru poduri rulante având capacitatea de ridicare de până la $50tf$, săgeata admisibilă are valoarea: $f_{adm} = \frac{t}{600}$.

Săgeata maximă f_{max} se calculează cu valorile normate ale încărcărilor. Poziția presiunilor pe roți date de podurile rulante sunt cele care conduc la obținerea momentului maxim maximorum. Valorile presiunilor pe roți sunt normate.

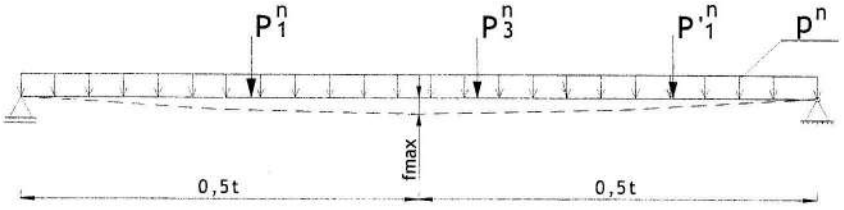
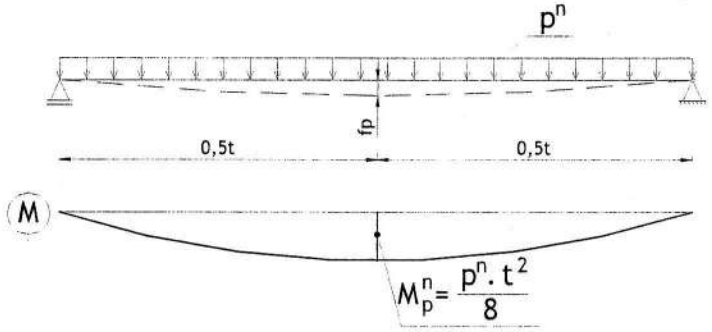


Fig.3.11. Încărcările ce generează săgeata f_{max}

Săgeata maximă se determină prin suprapunerea săgeților diferitelor încărcări ce acționează pe tronsonul de grindă analizat:

$$f_{max} = f_p + \sum f_i [mm]$$

Săgeata produsă de încărcarea uniform distribuită se determină după cum urmează:



$$f_p = \frac{5}{48} \cdot \frac{M^n{}_p \cdot t^2}{E \cdot I_y}$$

Fig.3.12. Săgeata generată de încărcarea uniform distribuită

Săgeata produsă de o forță concentrată ce acționează într-o poziție oarecare pe grindă se calculează cu relația:

$$f_i = \frac{1}{48} \cdot \frac{M^n{}_i \cdot t^2}{E \cdot I_y} \cdot \left(\frac{2 \cdot a}{t} + 1 + \frac{2 \cdot t}{b} - \frac{a}{b} - \frac{2 \cdot a^2}{b \cdot t} \right)$$

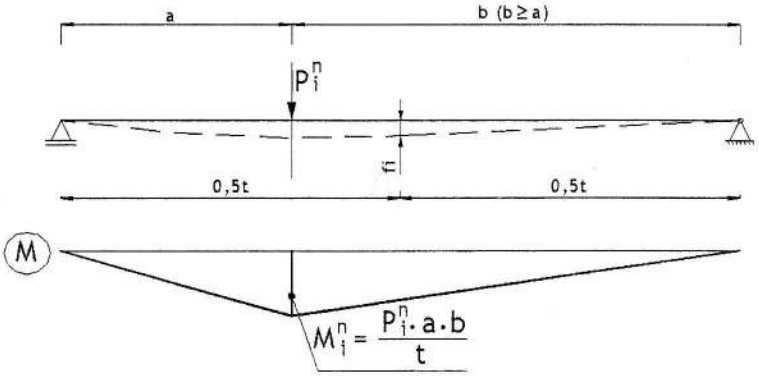


Fig.3.12. Săgeata produsă de o forță concentrată ce acționează într-o poziție oarecare pe grindă

Pentru tronsonul de grindă analizat se obțin săgețile:

- din încărcarea uniform distribuită:

$$f^n{}_p = \frac{5}{48}\cdot\frac{M^n{}_p \cdot t^2}{E\cdot I_y};$$

$$M^n{}_p = \frac{p^n \cdot t^2}{8};$$

- din forța concentrată $P_1{}^n$:

$$M^n{}_1 = \frac{P^n{}_1 \cdot a\cdot b}{t};$$

$$f_1 = \frac{1}{48}\cdot\frac{M^n{}_1 \cdot t^2}{E\cdot I_y}\left(\frac{2\cdot a}{t}+1+\frac{2\cdot t}{b}-\frac{a}{b}-\frac{2\cdot a^2}{b\cdot t}\right)$$

- din forța concentrată $P_3{}^n$:

analog cu săgeata de la $P_1{}^n \Rightarrow f_3 = ...$

- din forța concentrată $P_1{}'^n$:

analog cu săgeata de la $P_1{}^n \Rightarrow f'_1 = ...$

$$f_{max} = f_p + f_1 + f_3 + f'_1$$

$$f_{max} < f_{adm}$$

Valorile normate ale presiunilor pe roți sunt:

$$P^n{}_1 = 26.2tf; P^n{}_3 = 30.4tf$$

$$P'_1 = 14.0tf; P^n = 4.9\frac{kN}{m}$$

$$M^n{}_P = \frac{p^n\cdot t^2}{8} = \frac{4.9\cdot 11^2}{8} = 74.113kN\cdot m;$$

$$f_p = \frac{5}{48}\cdot\frac{M^n{}_p\cdot t^2}{EI_y} = \frac{5}{48}\cdot\frac{74.113\cdot 10^6\cdot Nmm\cdot(11000mm)^2}{2.1\cdot 10^5 N/mm^2\cdot 4207.79\cdot 10^6 mm^4} = 1.06mm.$$

$$M^n{}_1 = \frac{p^n{}_1\cdot a\cdot b}{t} = \frac{26.2tf\cdot 0.645m\cdot 10.355m}{11m} = 159.08\frac{kN}{m};$$

$$f_1 = \frac{1}{48}\cdot\frac{M^n{}_1\cdot t^2}{EI_y}\cdot(2\cdot\frac{a}{t}+1+2\cdot\frac{t}{b}-\frac{a}{b}-\frac{2\cdot a^2}{b\cdot t}) = \frac{1}{48}\cdot\frac{159.08\cdot 10^6\cdot Nmm\cdot(11000mm)^2}{2.1\cdot 10^5 N/mm^2\cdot 4207.79\cdot 10^6 mm^4}\cdot$$

$$\cdot(2\cdot\frac{0.645m}{11.0m}+1+2\cdot\frac{11.0m}{10.355m}-\frac{0.645m}{10.355m}-2\cdot\frac{0.645m\cdot 0.645m}{11.0m\cdot 10.355m}); f_1 = 1.44mm.$$

$$M^n{}_3 = \frac{p^n{}_3\cdot a\cdot b}{t} = \frac{30.4tf\cdot 4.555m\cdot 6.445m}{11m} = 811.32kN\cdot m;$$

$$f_3 = \frac{1}{48}\cdot\frac{M^n{}_3\cdot t^2}{EI_y}\cdot(2\cdot\frac{a}{t}+1+2\cdot\frac{t}{b}-\frac{a}{b}-\frac{2\cdot a^2}{b\cdot t}) = \frac{1}{48}\cdot\frac{811.32\cdot 10^6\cdot Nmm\cdot(11000mm)^2}{2.1\cdot 10^5 N/mm^2\cdot 4207.79\cdot 10^6 mm^4}\cdot$$

$$\cdot(2\cdot\frac{4.555m}{11.0m}+1+2\cdot\frac{11.0m}{6.445m}-\frac{4.555m}{6.445m}-2\cdot\frac{4.555m\cdot 4.555m}{11.0m\cdot 6.445m}); f_3 = 9.15mm.$$

$$M'^{n}_{1}=\frac{p'^{n}_{1}\cdot a\cdot b}{t}=\frac{14.0tf\cdot 3.255m\cdot 7.745m}{11m}=320.85kN\cdot m;$$

$$f'_{1}=\frac{1}{48}\cdot\frac{M'^{n}_{1}\cdot t^{2}}{EI_{Y}}\cdot(2\cdot\frac{a}{t}+1+2\cdot\frac{t}{b}-\frac{a}{b}-\frac{2\cdot a^{2}}{b\cdot t})=\frac{1}{48}\cdot\frac{320.85\cdot 10^{6}Nmm\cdot(11000mm)^{2}}{2.1\cdot 10^{5}N/mm^{2}\cdot 4207.79\cdot 10^{6}mm^{4}}\cdot$$

$$\cdot(2\cdot\frac{3.255m}{11.0m}+1+2\cdot\frac{11.0m}{7.745m}-\frac{3.255m}{7.745m}-2\cdot\frac{3.255m\cdot 3.255m}{11.0m\cdot 7.745m});f'_{1}=3.67mm.$$

$$f_{adm}=\frac{t}{600}=\frac{11000mm}{600}=18.33mm;$$

$$f_{\max}=f_{p}+\sum f_{i}=1.06+1.44+9.15+3.67=15.32mm;$$

$$f_{\max}=15.32mm<f_{adm}=18.33mm.$$

$f_{\max}<f_{adm}\Rightarrow$ Relația de verificare este satisfăcută.

3.9.VERIFICAREA LA STAREA LIMITĂ DE OBOSEALĂ (S.L.U.)

Verificarea la starea limită de oboseală se efectuează cu încărcări cu valori normate.

Relația de verificare este: $\boxed{\sigma_{\max}\le\gamma\cdot R}$

unde: $\gamma\le 1$; $\gamma=\dfrac{c}{a-b\cdot\rho}$;

R = rezistența de calcul a oțelului din care este realizat elementul verificat; R=220N/mm^2.

Coeficienții a, b, se extrag din STAS 10108/0-78 în funcție de grupa de încadrare a elementelor și îmbinărilor.

Pentru OL37 și grupa 2 de încadrare a elementelor și îmbinărilor (sudura de legătură dintre inimă și talpă la secțiunile dublu T), rezultă: a = 1.30; b = 0.70.

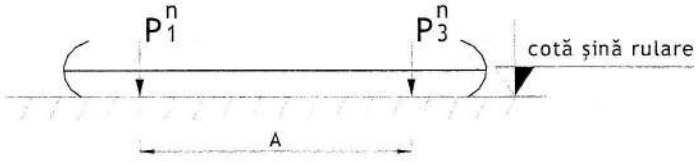
Coeficientul c, se extrage din STAS 10108/0-78 în funcție de grupa de încadrare a elementelor și îmbinărilor și în funcție de grupa de funcționare a podului.

Pentru OL37, grupa III de funcționare a podului rulant și grupa 2 de încadrare a elementelor și îmbinărilor, rezultă: c = 1.2.

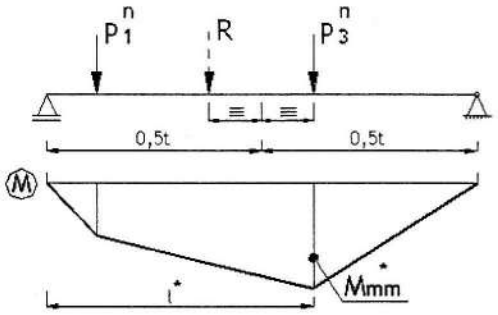
$$\rho=\frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}};|\sigma_{\min}|\le|\sigma_{\max}|$$

Observație: Pentru calculul coeficientului γ, tensiunile $\sigma_{\min}$ și $\sigma_{\max}$ se introduc cu semnul lor. În cazul de față $\sigma_{\min}$ și $\sigma_{\max}$ reprezintă valorile extreme ale tensiunilor înregistrate la nivelul extremității inferioare a secțiunii grinzii de rulare ($\sigma_{\max}=\sigma^{\inf}_{\max}$) și ($\sigma_{\min}=\sigma^{\inf}_{\min}$).

Se consideră că pe tronsonul de grindă analizat acționează un singur pod rulant. În cazul de față podurile rulante având același regim de exploatare se ia în calcul cel având capacitatea de ridicare mai mare. Convoiul de forțe considerat este:



Pentru acest convoi de forțe se calculează momentul maxim maximorum notat M^*_{mm}.



Se parcurg etapele:

1^0 Se determină valoarea rezultantei: $R = P_1^n + P_3^n$;

2^0 Se stabilește poziția rezultantei față de forțele din convoi: $\boxed{x = \frac{\sum Pi \cdot x_i}{R} = \frac{P_1^n \cdot 0 + P_3^n \cdot A}{R};}$

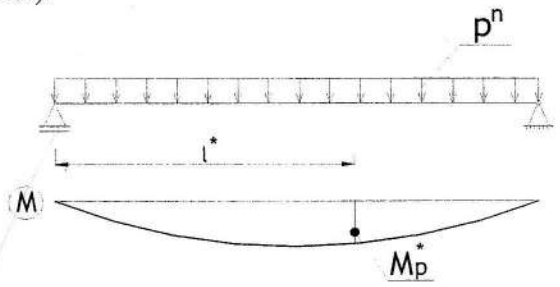
3^0 Se stabilește forța din convoi care este situată cel mai aproape de rezultantă (în cazul de față este forța P_3^n).

4^0 Se așează convoiul de forțe în poziția în care mijlocul deschiderii grinzii împarte în două părții egale distanța dintre rezultantă și forța din convoi situată cel mai aproape de rezultantă;

5^0 Pentru această poziție a convoiului de forțe se calculează reacțiunile verticale;

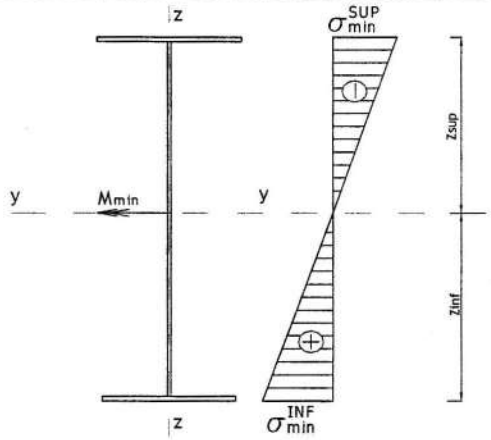
6^0 Se trasează diagrama de momente încovoietoare. Se determină momentul maxim maximorum M^*_{mm} și distanța l^*.

7^0 Se calculează apoi momentul M_p, generat de încărcările uniform distribuite în lungul grinzii în secțiunea în care s-a calculat momentul M^*_{mm} (la distanța l^* de reazemul din stânga al tronsonului de grindă).



8^0 Se calculează momentele încovoietoare: $M_{min} = M_p^*$ și $M_{max} = M^*_{mm} + M^*_p$.

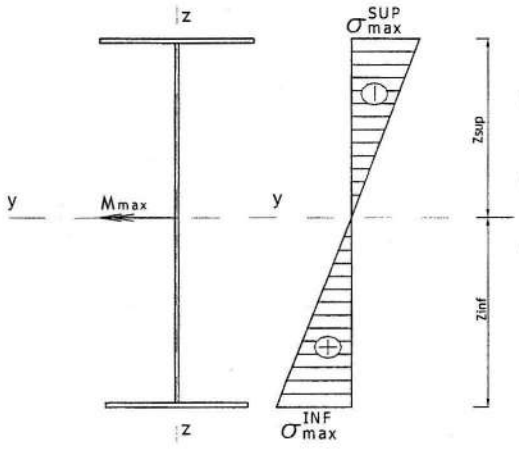
Tensiunile minime se înregistrează sub acțiunea momentului încovoietor: $M_{min} = M_p^*$



$$\sigma^{sup}{}_{min} = \frac{M_{min}}{I_y} \cdot z_{sup};$$

$$\sigma^{inf}{}_{min} = \frac{M_{min}}{I_y} \cdot z_{inf};$$

Tensiunile maxime se înregistrează sub acțiunea momentului încovoietor: $M_{max}=M^*_{mm}+M^*_p$



$$\sigma^{sup}{}_{max} = \frac{M_{max}}{I_y} \cdot z_{sup};$$

$$\sigma^{inf}{}_{max} = \frac{M_{max}}{I_y} \cdot z_{inf};$$

$$\sigma^{inf}{}_{max} > \sigma^{sup}{}_{max} \Rightarrow \sigma_{max} = \sigma^{inf}{}_{max}.$$

Cum $\sigma_{max} = \sigma^{inf}{}_{max}$, este o tensiune de întindere rezultă că: $\gamma = \frac{c}{a - b \cdot \rho}$ (dacă tensiunea maximă ar fi o tensiune de compresiune, atunci: $\gamma = \frac{c}{b - a \cdot \rho}$; unde $\rho = \frac{\sigma^{inf}{}_{min}}{\sigma^{inf}{}_{max}}$);

γ are expresia: $\gamma = \frac{c}{a - b \cdot \rho} \Rightarrow$ se calculează $\gamma \cdot R$ și se verifică relația: $\boxed{\sigma_{max} < \gamma \cdot R}$

Pentru convoiul de forțe cu valori normate generate de podul cu capacitatea de ridicare de $40tf$ se calculează M^*_{mm} :

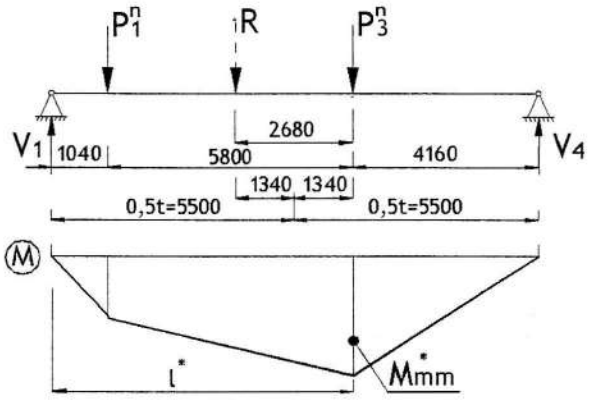
1^0 Se determină valoarea rezultantei: $R = P_1^n + P_3^n = 566kN$

2^0 Se stabilește poziția rezultantei față de forțele din convoi:

$$x = \frac{\sum Pi \cdot x_i}{\sum Pi} = \frac{304kN \cdot 5.800m}{566kN} = 3.12m$$

3^0 În cazul de față forța P_3^n este situată cel mai aproape de rezultanta R (la distanța de $2.68m$).

4^0 Se aşează forţele din convoi astfel încât această distanţă de 2.68m să fie împărţită în două părţi egale de mijlocul deschiderii grinzii.



5^0 Pentru această poziţie a convoiului de forţe se calculează reacţiunile V_1 şi V_4:

$$\left(\sum M\right)_1 = 0 \Rightarrow 262kN \cdot 1.04m + 304kN \cdot 6.84m - V_4 \cdot 11m = 0 \Rightarrow V_4 = 213.80kN;$$

$$\left(\sum M\right)_4 = 0 \Rightarrow -262kN \cdot 9.96m - 304kN \cdot 4.16m + V_1 \cdot 11m = 0 \Rightarrow V_1 = 352.2kN.$$

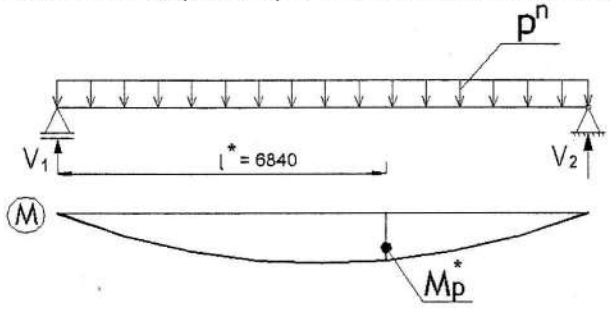
6^0 Se determină momentul maxim maximorum M^*_{mm} şi distanţa l^* :

$$M^{*st}_{mm} = 352.2kN \cdot 6.84m - 262kN \cdot 5.8m = 889.45kNm;$$

$$M^{*dr}_{mm} = -(-213.80kN \cdot 4.16m) = 889.45kNm.$$

$$l^* = 1040mm + 5800mm = 6840mm$$

7^0 Se calculează momentul M_p, generat de încărcările uniform distribuite, în aceeaşi secţiune în care s-a calculat momentul M^*_{mm} (la distanţa $l^* = 6840mm$ de reazemul din stânga).



$$\left(\sum M\right)_1 = 0 \Rightarrow -V_2 \cdot 11m + 4.9m \cdot 11m \cdot \frac{11m}{2} = 0 \Rightarrow V_2 = 26.95kN;$$

$$\left(\sum M\right)_2 = 0 \Rightarrow V_1 \cdot 11m - 4.9m \cdot 11m \cdot \frac{11m}{2} = 0 \Rightarrow V_1 = 26.95kN;$$

$$M^*_p = 26.95kN \cdot m \cdot 6.48m - 4.9m \cdot 6.84m \cdot \frac{6.84m}{2} = 69.71kNm$$

8^0 Se calculează momentele încovoietoare: $M_{min} = M_p^*$ şi $M_{max} = M^*_{mm} + M^*_p$:

$$M_{max} = 889.45kN \cdot m + 69.71kN \cdot m = 959.16kNm;$$

$$M_{min} = 69.71kNm.$$

Se calculează tensiunile generate de momentele M_{max} şi M_{min} în fibrele extreme:

$$\sigma^{sup}{}_{max} = \frac{M_{max}}{I_y} \cdot z_{sup} = \frac{959.16kN \cdot m \cdot 10^6}{4252164359} \cdot 552.53mm = 124.63 \frac{N}{mm^2};$$

$$\sigma^{sup}{}_{min} = \frac{M_{min}}{I_y} \cdot z_{sup} = \frac{69.71kN \cdot m \cdot 10^6}{4252164359} \cdot 552.53mm = 9.06 \frac{N}{mm^2};$$

$$\sigma^{inf}{}_{max} = \frac{M_{max}}{I_y} \cdot z_{inf} = \frac{959.16kN \cdot m \cdot 10^6}{4252164359} \cdot 575.47mm = 129.81 \frac{N}{mm^2};$$

$$\sigma^{inf}{}_{min} = \frac{M_{min}}{I_y} \cdot z_{inf} = \frac{69.71kN \cdot m \cdot 10^6}{4252164359} \cdot 575.47mm = 9.43 \frac{N}{mm^2};$$

$$\sigma^{inf}{}_{max} > \sigma^{sup}{}_{max} \Rightarrow \sigma_{max} = \sigma^{inf}{}_{max} = 129.81 \frac{N}{mm^2};$$

$$\rho = \frac{\sigma^{inf}{}_{min}}{\sigma^{inf}{}_{max}} = \frac{9.43}{129.81} = 0.0726;$$

$$\gamma = \frac{c}{a - b \cdot \rho} = \frac{1.2}{1.3 - 0.7 \cdot 0.0726} = 0.9606.$$

Relația de verificare la starea limită de oboseală este:

$\sigma_{max} \le \gamma \cdot R \Leftrightarrow \sigma_{max} = \sigma^{inf}{}_{max} = 129.81 \frac{N}{mm^2} < 0.9606 \cdot 220 \frac{N}{mm^2} = 211.34 \frac{N}{mm^2} \Rightarrow$ Relația de verificare este satisfăcută.

Dacă se efectuează verificarea la oboseală la nivelul tălpii superioare, unde apar tensiuni de compresiune, relația de verificare la oboseală are expresia: $\sigma_{max} \le \gamma \cdot R$; $\gamma = \frac{c}{b - a \cdot \rho}$.

$$\rho = \frac{\sigma^{sup}{}_{min}}{\sigma^{sup}{}_{max}} = \frac{9.06}{124.63} = 0.0726;$$

Coeficienții a, b, se extrag din STAS 10108/0-78 în funcție de grupa de încadrare a elementelor și îmbinărilor.

Pentru OL37 și grupa 3 de încadrare a elementelor și îmbinărilor (metalul de bază în secțiunea slăbită de găurile necesare prinderii cu șuruburi de înaltă rezistență a șinei de talpa superioară), rezultă: $a = 1.55$; $b = 0.95$.

Coeficientul c, se extrage din STAS 10108/0-78 în funcție de grupa de încadrare a elementelor și îmbinărilor și în funcție de grupa de funcționare a podului.

Pentru OL37, grupa III de funcționare a podului rulant și grupa 2 de încadrare a elementelor și îmbinărilor, rezultă: $c = 1.3$.

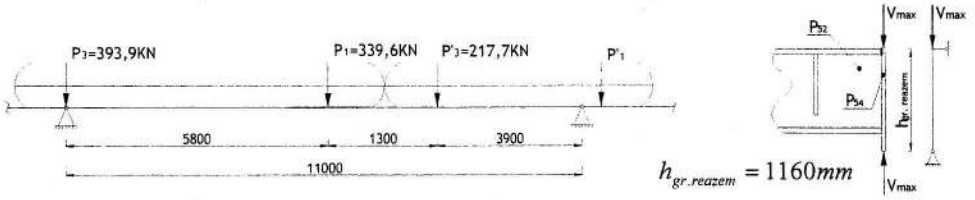
Coeficientul γ are valoarea: $\gamma = \frac{c}{b - a \cdot \rho} = \frac{1.3}{0.95 - 1.55 \cdot 0.0726} = 1.552.$

Relația de verificare la starea limită de oboseală este:

$\sigma_{max} \le \gamma \cdot R \Leftrightarrow \sigma_{max} = \sigma^{sup}{}_{max} = 124.63 \frac{N}{mm^2} < 1.552 \cdot 220 \frac{N}{mm^2} = 341.44 \frac{N}{mm^2} \Rightarrow$ Relația de verificare este satisfăcută.

3.10.VERIFICAREA REZEMĂRII TRONSONULUI DE GRINDĂ

1^0 Evaluarea reacțiunii maxime:



$h_{gr.reazem} = 1160mm$

Fig.3.13. Situația de încărcare ce conduce la reacțiunea maximă $\mathbf{V_{max}}$

$$V_{max} = \frac{217.7kN \cdot 3.9m + 339.6kN \cdot 5.2m}{11m} + 393.9kN = 631.6kN$$

2^0 Verificare la strivire:

Relația de verificare este: $\boxed{\frac{V_{max}}{t_{54} \cdot b} \le 1.5 \cdot R}$.

unde:

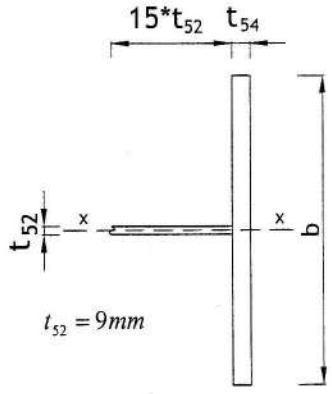
t_{54} – grosimea rigidizării de capăt a tronsonului de grindă (piesa P_{54}); se propune $t_{54} = 20mm$.

b – lățimea rigidizării de capăt în zona de strivire; se propune $b = 350mm$ (egală cu lățimea tălpii inferioare a grinzii căii de rulare).

R – rezistența de calcul a oțelului; pentru OL37, $R = 220N/mm^2$.

$$\frac{V_{max}}{t_{54} \cdot b} = \frac{631{,}6 \cdot 10^3 N}{20mm \cdot 350mm} = 90.22N/mm^2 << 1.5 \cdot R = 330N/mm^2.$$

3^0 Stabilirea secțiunii de calcul pentru verificarea de stabilitate:



$t_{52} = 9mm$

$$A = b \cdot t_{54} + t_{52} \cdot 15 \cdot t_{52} = 350 \cdot 20 + 9 \cdot 15 \cdot 9 = 8215mm^2$$

$$I_x = \frac{b^3 \cdot t_{54}}{12} = \frac{(350mm)^3 \cdot 20mm}{12} = 71.45 \cdot 10^6 mm^4$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{71.45 \cdot 10^6 mm^4}{8215mm^2}} = 93.26mm$$

4^0 Determinarea coeficientului de flambaj:

$$\lambda_x = \frac{h_{gr.reazem}}{i_x} = \frac{1160mm}{93.26mm} = 12.43$$

$$\lambda_x = 12.43 \xrightarrow{CURBA\ C\ \ OL37} \varphi_x = 0.995$$

5^0 Verificare stabilitate:

$$\frac{V_{max}}{\varphi_x \cdot A} = \frac{631.6 \cdot 10^3 N}{0.995 \cdot 8215mm^2} = 77.27N/mm^2 << R = 220N/mm^2.$$

$\Rightarrow$ Relația de verificare este satisfăcută.

4. CALCUL STÂLP HALĂ

4.1. EVALUARE SOLICITĂRI STÂLP HALĂ

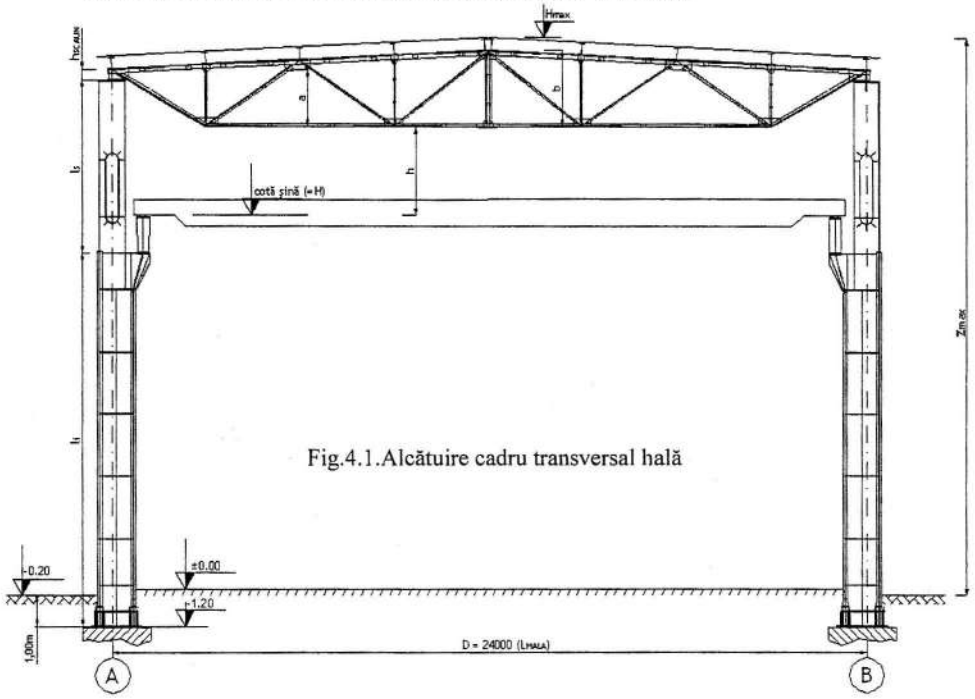


Fig.4.1.Alcătuire cadru transversal hală

4.1.1. SCHEMĂ STATICĂ CADRU TRANSVERSAL HALĂ:

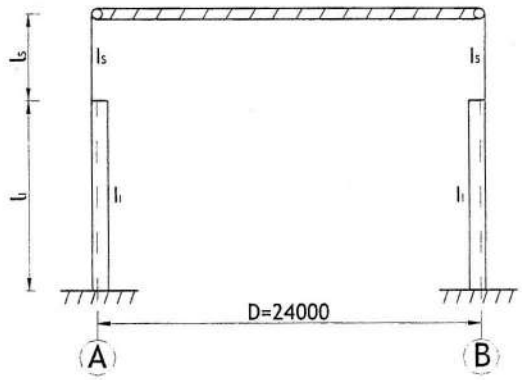


Fig.4.2. Schematizare statică cadru transversal hală

unde:
l_i = lungimea tronsonului inferior;
l_s = lungimea tronsonului superior;
I_i = momentul de inerție al secțiunii tronsonului inferior de stâlp;
I_s = momentul de inerție al secțiunii tronsonului inferior de stâlp.

Observație:
Se consideră că rigla de cadru (ferma) are rigiditate axială foarte mare, adică impune aceleași deformații pe orizontală capetelor superioare ale stâlpilor .

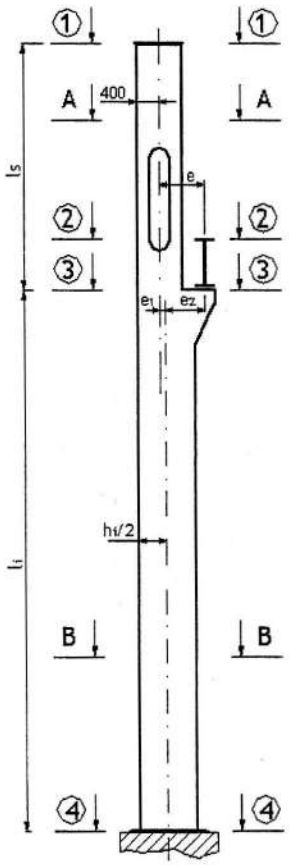


Fig.4.3. Secțiunile transversale în care se determină eforturile secționale: 1-1; 2-2; 3-3; 3'-3' și 4-4.

Dimensiuni utilizate:
- înălțime inimă tronson superior: 800*mm* (valoare propusă);
- înălțime inimă tronson inferior: h_i = 1100*mm* (valoare propusă);
- gabarit de trecere al podului rulant: $e = 1000mm$ (valoare impusă de dimensiunile podului rulant);
- $e = e_1 + e_2$;
- rezultă: $e_1 = 150mm$ și $e_2 = 850mm$.

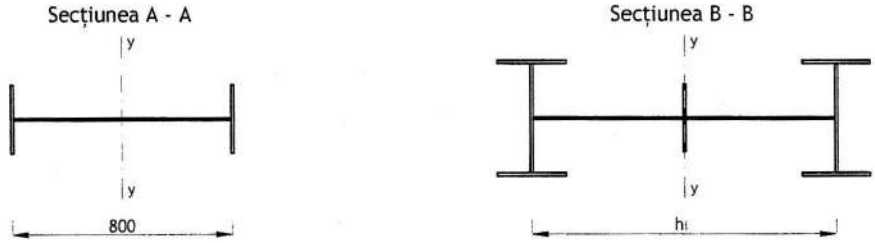


Fig.4.4. Secțiuni transversale tronsoane stâlp

Lungimea tronsoanelor de stâlp se calculează cu relațiile:

$l_i = H + 1.20m - h_{sină} - h_{gr.reazem}$;

$l_i = 12m + 1.20m - 0.130m - 1.150m = 11.92m = 11920mm \Rightarrow l_i \cong 12000mm = 12.00m$;

$l_s = h_{gr.reazem} + h_{sină} + h + e_{T.J.} + f_{adm} + a - h_{scaun} + d$;

$l_s = 1.150m + 0.130m + 2.5m + 0.0331m + 0.096m + 1.8m - 0.358m + 0.15m$;

$l_s = 5.501m = 5501mm \Rightarrow l_s \cong 5501mm = 5.50m$.

unde:

H = cota ce trebuie asigurată şinei de rulare (faţă de cota ± 0.00).

$1.20m$ = diferenţa de cotă existentă între cota ± 0.00 şi faţa inferioară a plăcii de bază a stâlpului (vezi figura 4.1).

$h_{sină}$ = înălţimea şinei pe care circulă podurile rulante; $h_{sină} = 0.130m$ (vezi figura 4.5).

$h_{gr.\ reazem} = 1.150m$;

$h_{gr.\ reazem}$ = înălţimea totală a grinzii de rulare în zona de rezemare (vezi figura 4.5).

h = gabarit de trecere al podului rulant (vezi figura 4.6); $h = 2.50m$.

$e_{T.I.}$ = excentricitatea cornierului utilizat pentru talpa inferioară a fermei; $e_{T.I.} = 33.1mm$.

f_{adm} = săgeata admisibilă a fermei; $f_{adm} = D/250 = 96mm$.

$a = 1.8m$ (vezi figura 4.8).

$h_{scaun} = 0.358m$ (vezi figura 4.7).

d = spaţiu necesar unor conducte (cabluri) ce pot fi fixate de talpa inferioară a fermei la modificarea ulterioară a destinaţiei halei; $d \cong 0.15m$.

Observaţie:

Valorile l_s şi l_i se rotunjesc superior la multiplu de $10cm$.

$$z_{\max} = l_i + l_s - 1.00m + h_{scaun} + b - a + e_{T.S} + h_{pană} + h_{invelitoare};$$

$$z_{\max} = 12m + 5.5m - 1.0m + 0.358m + 2.4m - 1.8m + 0.0421m + 0.0366m + 0.1m \cong 17.97m.$$

unde:

$z_{\max}$ = cota cea mai înaltă a construcţiei raportată la cota terenului natural.

$b = 2.4m$ (vezi figura 4.8).

$e_{T.S.}$ = excentricitatea cornierului utilizat pentru talpa superioară a fermei; $e_{T.S.} = 42.1mm$.

$h_{pană}$ = înălţimea secţiunii transversale a panei; $h_{pană} = 366mm$.

$h_{invelitoare}$ = grosimea învelitorii din tablă cutată; $h_{invelitoare} \cong 0.1m$.

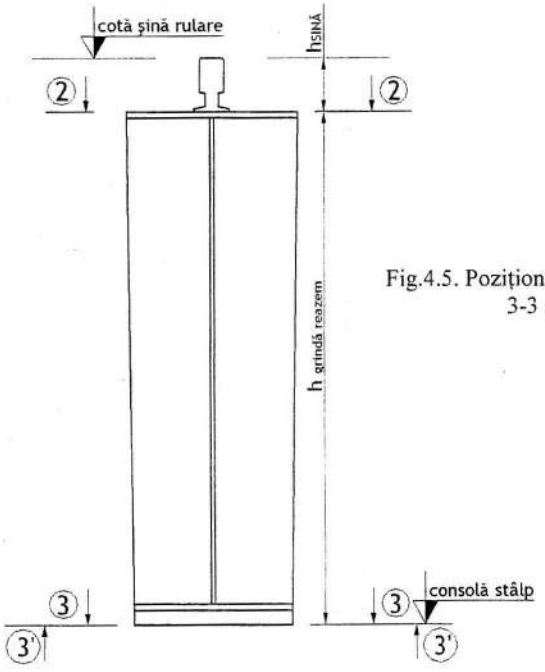


Fig.4.5. Poziţionarea secţiunilor 2-2; 3-3 şi 3'-3'

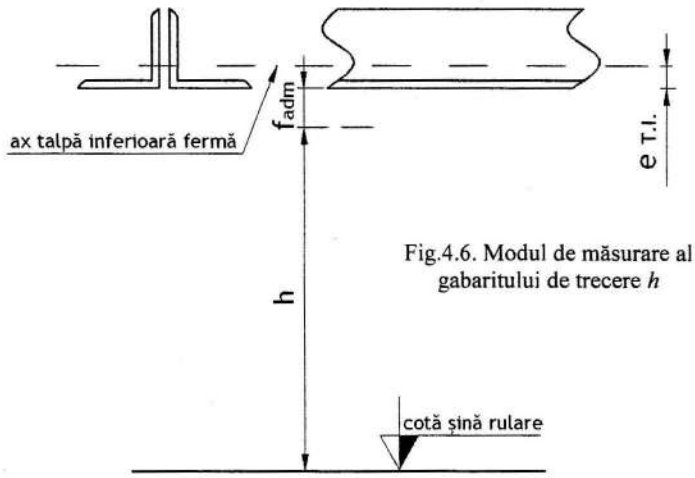


Fig.4.6. Modul de măsurare al gabaritului de trecere *h*

Observație :

Gabaritul *h* ce trebuie asigurat podului rulant se măsoară de la cota șinei de rulare la elementul cel mai de jos ce intră în componența structurii de rezistență a acoperișului (în cazul halei analizate – fața de jos a tălpii inferioare a fermei în poziția cea mai deformată).

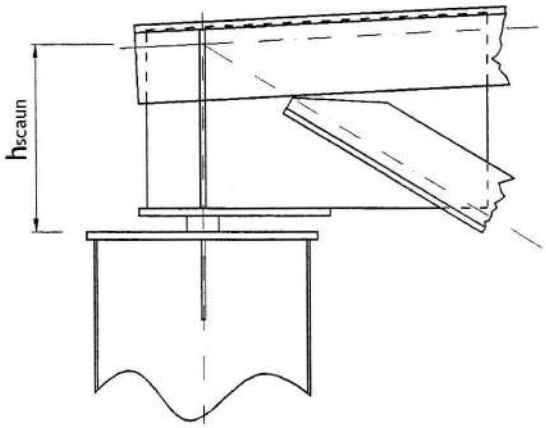


Fig.4.7. Semnificația dimensiunii h_{scaun}

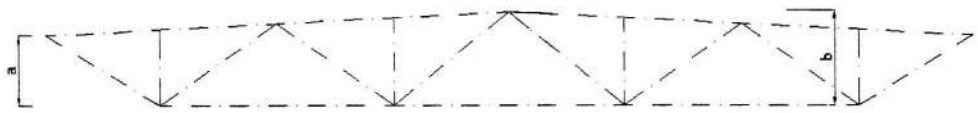
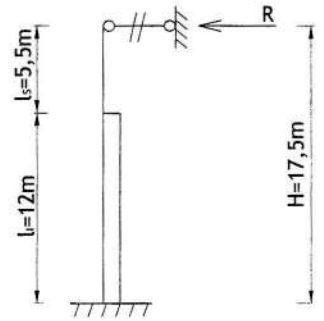


Fig.4.8. Semnificația cotelor *a* și *b*

UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI BIBLIOTECĂ
Nr.
Inv.

4.1.2. RELAȚII DE CALCUL PENTRU FORȚA DE FIXARE "*R*":

Schematizare stâlp:



Notații:

$$\beta = \frac{l_S}{H} = \frac{5500mm}{17500mm} = 0.314;$$

$$n = \frac{I_i}{I_s} = 5;$$

$$\alpha_2 = \frac{(n-1)\cdot\beta^2+1}{n} = \frac{(5-1)\cdot 0.314^2+1}{5} = 0.279;$$

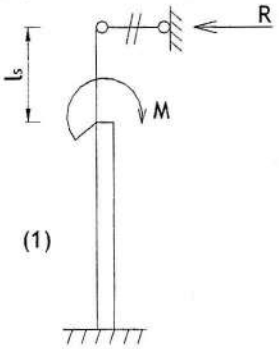
$$\alpha_3 = \frac{(n-1)\cdot\beta^2+1}{n} = \frac{(5-1)\cdot 0.314^2+1}{5} = 0.225.$$

unde:

I_i = momentul de inerție al secțiunii tronsonului inferior de stâlp în raport cu axa y - y;
I_s = momentul de inerție al secțiunii tronsonului inferior de stâlp în raport cu axa y - y;
R = este forța de fixare

Observație:
Valoarea coeficientului n se propune: $3 \le n \le 6$.

Situații de încărcare:
(1)Moment încovoietor în secțiunea 3-3

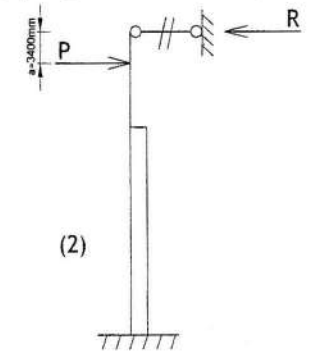


$$R = \frac{3}{2\cdot\alpha_3}\cdot(\alpha_2-\beta_2)\cdot\frac{M}{H} \qquad (1)$$

$$R = \frac{3}{2\cdot 0.225}\cdot(0.279-0.09)\cdot\frac{M}{17500\,mm};$$

$$R = \frac{0.54\cdot M}{7875\,mm} = 0.0686\cdot M.$$

(2)Forță orizontală în secțiunea 2-2



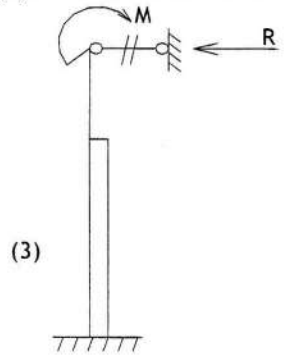
$$a \le l_s \Leftrightarrow 4350mm < 5500mm;$$

$$\psi = \frac{a}{H} = \frac{4350}{17500} = 0.248;$$

$$R = \left[1-\frac{\psi}{2\cdot\alpha_3}\cdot(3\cdot\alpha_2-\psi^2)\right]\cdot P \qquad (2)$$

$$R = \left[1-\frac{0.248}{2\cdot 0.225}\cdot(3\cdot 0.279-0.248^2)\right]\cdot P = 0.811\cdot P.$$

(3)Moment încovoietor în secțiunea 1-1



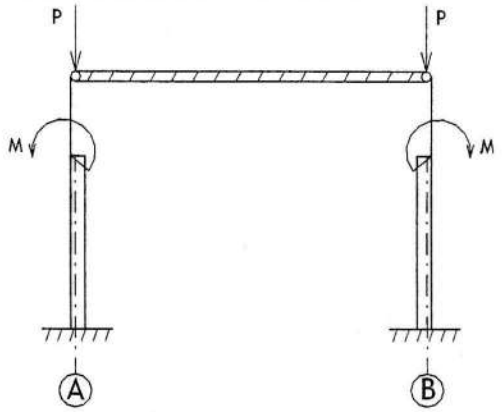
$$R = \frac{3 \cdot \alpha_2}{2 \cdot \alpha_3} \cdot \frac{M}{H} \qquad (3)$$

$$R = \frac{3 \cdot 0.279}{2 \cdot 0.225} \cdot \frac{M}{17.500m} = 0.1063 \cdot M.$$

4.1.3. CALCULUL EFORTURILOR ÎN STÂLP:

A. ÎNCĂRCĂRI PERMANENTE ACOPERIŞ:

A.1. SCHEMA DE ÎNCĂRCARE:



$$M = P \cdot e_1;$$

$$P = p \cdot S_{aferent} = p \cdot \frac{t \cdot D}{2}.$$

Încărcare permanentă	Încărcări normate $[kN/m^2]$	n_i	Încărcări de calcul $[kN/m^2]$
-greutate proprie învelitoare	0.50	1.1	0.55
-greutate pane și contravântuiri	0.20	1.1	0.22
-greutate ferme	0.15	1.1	0.165
	$p_A^n = 0.85$		$p = 0.935$

$e_1 = 0.15m; p = 0.935kN/m^2;$

$$P = p \cdot \frac{t \cdot D}{2} = 0.935 \frac{kN}{m^2} \cdot \frac{11.0m \cdot 24.0m}{2} = 123.42kN;$$

$$M = P \cdot e_1 = 123.42kN \cdot 0.150m = 18.513kN \cdot m.$$

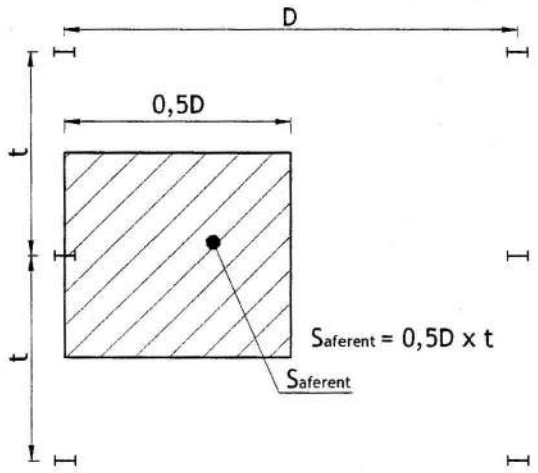
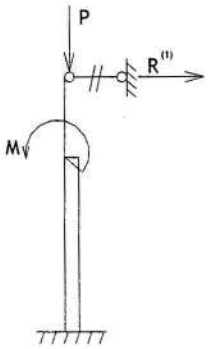
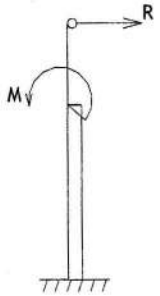


Fig.4.9. Suprafața aferentă unui stâlp de cadru curent pentru încărcările preluate de la nivelul acoperișului

A.2. SCHEMĂ STÂLP AX-A:



A.3. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE *R*:



Observație:
Forța de fixare *R* se calculează cu relația (1).

$R^{(1)} = 0.0702 \cdot M;$

$M = 18.513kN \cdot m;$

$R^{(1)} = 0.0702 \cdot 18.513 = 1.3kN.$

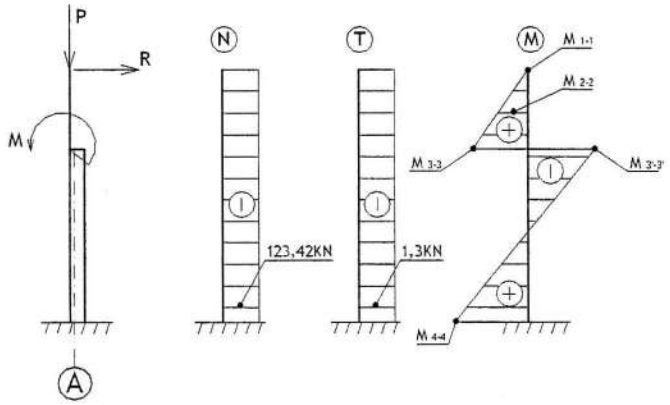
A.4. TRASARE DIAGRAME DE FEORTURI:

Observație:
Pentru reprezentarea diagramelor de eforturi în lungul stâlpului se poate folosi orice convenție de semne (cea din calculul static manual în funcție de sensul de parcurgere al barei

sau o altă convenție de reprezentare utilizată într-un program de calcul automat), cu condiția ca aceasta să fie respectată în toate cazurile (ipotezele) de încărcare analizate. Această condiție este necesară pentru a nu greși la suprapunerea efectelor diferitelor cazuri de încărcăre (în combinațiile de încărcări utilizate la dimensionarea stâlpului).

În exemplul de calcul prezentat s-a folosit convenția de reprezentare:

- valorile eforturilor secționale N, T şi M reprezentate pe partea din stângă a barei s-au considerat ca fiind pozitive; eforturile secționale reprezentate pe partea din dreapta a barei sunt considerate ca având valori negative;
- bara se parcurge de sus în jos;
- forțele axiale de compresiune se consideră cu semnul minus;
- momentele încovoietoare ce întind fibrele dinspre exterior ale stâlpului se consideră cu semnul plus.



$M_{1-1} = 0;$

$M_{2-2} = 1.3kN \cdot 4.35m = 5.66kN \cdot m;$

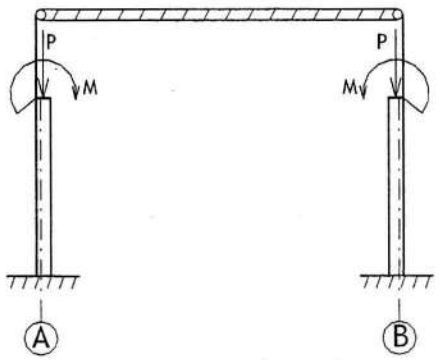
$M_{3-3} = 1.3kN \cdot 5.5m = 7.15kN \cdot m;$

$M'_{3-3} = 1.3kN \cdot 5.5m - 18.53kNm = -11.38kN \cdot m;$

$M_{4-4} = 1.3kN \cdot 17.5m - 18.53kNm = 4.22kN \cdot m.$

B. ÎNCĂRCĂRI PERMANENTE CALE DE RULARE:

B.1. SCHEMĂ DE ÎNCĂRCARE:



$M = P \cdot e_2;$

$P = p \cdot t.$

Încărcare permanentă	Valori normate [kN/m]	n_i	Valori de calcul [kN/m]
-greutate grindă de rulare	1.5	1.1	1.65
-greutate şină şi prinderi	0.7	1.1	0.77
-greutate grindă de frânare	0.8	1.1	0.88
-greutate contravântuiri orizontale	0.4	1.1	0.44
-greutate balustradă	0.1	1.1	0.11
-greutate grindă secundară	0.4	1.1	0.44
	$p^n = 3.9$		$p = 4.29$

$e_2 = 0.85m; p = 4.29kN/m;$

$P = p \cdot t = 4.29kN/m \cdot 11.00m = 47.19kN;$

$M = P \cdot e_2 = 47.19kN \cdot 0.850m = 40.1115kN \cdot m.$

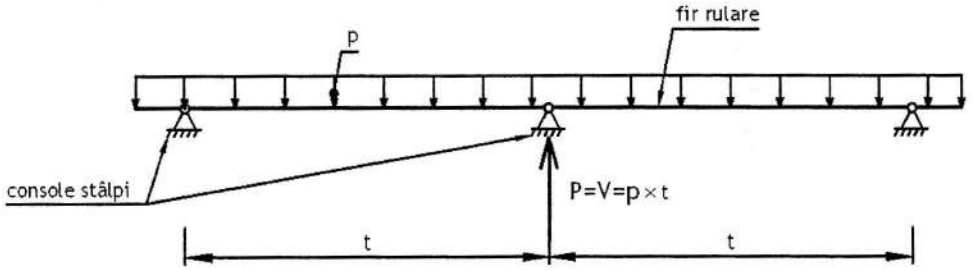
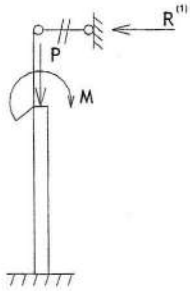
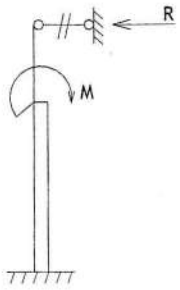


Fig.4.10. Modul de evaluare al forţei P

B.2. SCHEMĂ STÂLP AX- A:



B.3. CALCUL FORŢĂ DE FIXARE R:

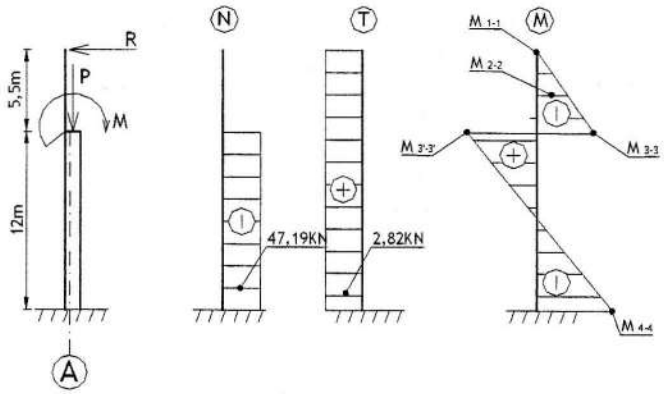


Observaţie:
Forţa de fixare R se calculează cu relaţia (1).

$R = 0.0702 \cdot M;$

$R = 0.0702 \cdot 40.1115 = 2.816kN.$

B.4. TRASARE DIAGRAME DE EFORTURI:



$M_{1-1} = 0;$

$M_{2-2} = -2.816kN \cdot 4.35m = -12.25kN \cdot m;$

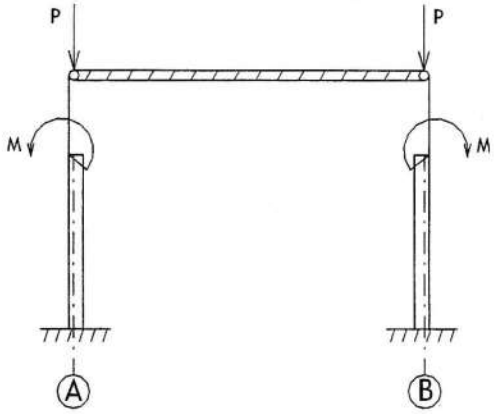
$M_{3-3} = -2.816kN \cdot 5.5m = -15.49kN \cdot m;$

$M'_{3-3} = -2.816kN \cdot 5.5m + 40.1115kN \cdot m = 24.62kN \cdot m;$

$M_{4-4} = 40.1115kN \cdot m - 2.816kN \cdot 17.5m = -9.17kN \cdot m.$

C. ÎNCĂRCĂRI CVASIPERMANENTE ACOPERIŞ:

C.1. SCHEMĂ DE ÎNCĂRCARE:



$M = P \cdot e_1;$

$P = p \cdot S_{aferent} = p \cdot \frac{t \cdot D}{2}.$

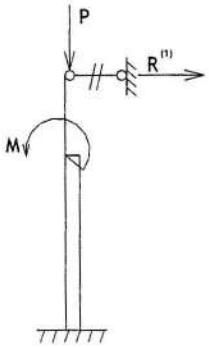
Încărcare cvasipermanentă	Valori normate $[kN/m^2]$	n_i	Valori de calcul $[kN/m^2]$
-spațiu tehnic	0.2	1.2	0.24
-praf industrial	1.0	1.2	1.2
	$p_C^n = 1.2$		$p = 1.44$

$e_1 = 0.15m; p = 1.44kN/m^2;$

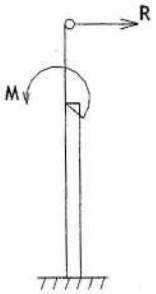
$$P = p \cdot S_{aferent} = 1.44kN/m^2 \cdot \frac{11m \cdot 24m}{2} = 190.08kN;$$

$$M = P \cdot l_1 = 190.08kN \cdot 0.150m = 28.512kN \cdot m.$$

C.2. SCHEMĂ STÂLP AX-A:



C.3. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE *R*:

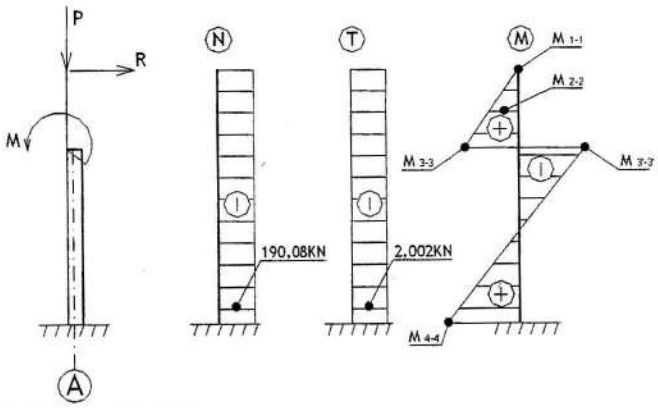


Observație:
Forța de fixare *R* se calculează cu relația (1).

$$R = 0.0702 \cdot M;$$

$$R = 0.0702 \cdot 28.512 = 2.002kN.$$

C.4. TRASARE DIAGRAME DE EFORTURI:



$$M_{1-1} = 0;$$

$$M_{2-2} = 2.002kN \cdot 4.35m = 8.71kN \cdot m;$$

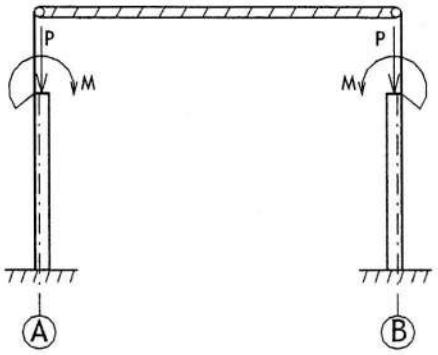
$$M_{3-3} = 2.002kN \cdot 5.5m = 11.01kN \cdot m;$$

$$M'_{3-3} = 2.002kN \cdot 5.5m - 28.512kN \cdot m = -17.50kN \cdot m;$$

$$M_{4-4} = 2.002kN \cdot 17.5m - 28.512kN \cdot m = 6.52kN \cdot m.$$

D. ÎNCĂRCĂRI CVASIPERMANENTE CALE DE RULARE:

D.1. SCHEMĂ DE ÎNCĂRCARE:

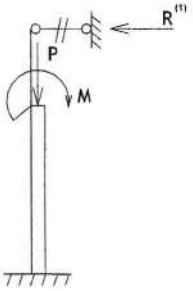


$M = P \cdot e_2;$
$P = p \cdot t.$

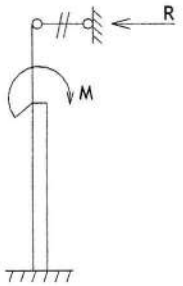
Încărcare permanentă	Valori normate [kN/m]	n_i	Valori de calcul [kN/m]
-spațiu tehnic	0.2	1.2	0.24
	$p^n = 0.2$		$p = 0.24$

$e_2 = 0.85m; p = 0.24kN/m;$
$P = p \cdot t = 0.24kN \cdot 11.0m = 2.64kN;$
$M = P \cdot e_2 = 2.64kN \cdot 0.850m = 2.244kN \cdot m.$

D.2. SCHEMĂ STÂLP AX- A:



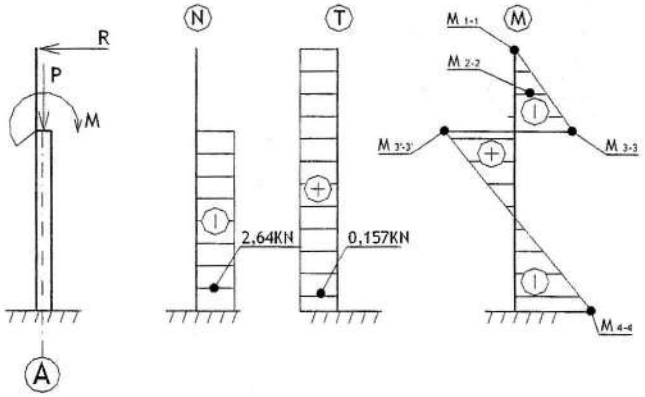
D.3. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE *R*:



Observație:
Forța de fixare *R* se calculează cu relația (1).

$R = 0.0702 \cdot M;$
$R = 0.0702 \cdot 2.244 = 0.1575kN.$

D.4. TRASARE DIAGRAME DE EFORTURI:



$M_{1-1} = 0;$

$M_{2-2} = -0.1575kN \cdot 4.35m = -0.69kN \cdot m;$

$M_{3-3} = -0.1575kN \cdot 5.5m = -0.87kN \cdot m;$

$M'_{3-3} = -0.1575kN \cdot 5.5m + 2.244kN \cdot m = 1.38kN \cdot m;$

$M_{4-4} = -0.1575kN \cdot 17.5m + 2.244kN \cdot m = -0.51kN \cdot m.$

E. ÎNCĂRCĂRE DATĂ DE ZĂPADĂ (încărcare variabilă):

E.0. EVALUAREA ÎNCĂRCĂRII DATE DE ZĂPADĂ

Intensitatea de calcul a încărcării date de zăpadă se determina folosind relația:

$$\boxed{p_z^{\,n} = c_{zi} \cdot c_e \cdot g_z \left[kN/m^2\right]}$$

unde:

g_z = greutatea stratului de referință; $g_z = 1.5\ kN/m^2$;

c_{zi} = coeficient prin care se ține seama de aglomerarea cu zăpadă pe suprafața acoperișului; $c_{zi} = 1.0$;

c_e = coeficient ce ține seama de condițiile de expunere ale construcției; c_e=0.8;

prin urmare: $p_z^{\,n} = 1.0 \cdot 0.8 \cdot 1.5 = 1.20kN/m^2$.

Intensitatea de calcul a încărcării date de zăpadă pentru verificarea la S.L.U. sub încărcări în gruparea fundamentală se determină folosind relația:

$$\boxed{p_z^{\,F} = \gamma_F \cdot p_z^{\,n} \left[kN/m^2\right]}$$

unde:

$$\gamma_F = \gamma_a - 0.4 \times \frac{g_p}{c_e \times g_z} \geq 0.3\gamma_a \ ; \gamma_a = 2.2 \ ;$$

g_p = suma intensităților normate ale încărcărilor verticale ce acționează asupra elementului verificat, cu excepția zăpezii (încărcarea distribuită echivalentă, determinată pe baza intensităților normate ale încărcărilor verticale, care afectează elementele expuse şi intervin în grupări fundamentale);

$g_p = p_A^{\,n} + p_C^{\,n} = 0.85kN/m^2 + 1.2kN/m^2 = 2.05kN/m^2;$

$$\gamma_F = \gamma_a - 0.4 \times \frac{g_p}{c_e \times g_z} = 2.2 - 0.4 \times \frac{2.05kN/m^2}{0.8 \times 1.5kN/m^2} = 1.517;$$

prin urmare: $p_z^F = \gamma_F \cdot p_z^n = 1.517 \times 1.20kN/m^2 = 1.82kN/m^2$.

Intensiatea de calcul a încărcării date de zăpadă pentru verificarea la S.L.U. sub încărcări în gruparea specială de încărcări se determină folosind relația:

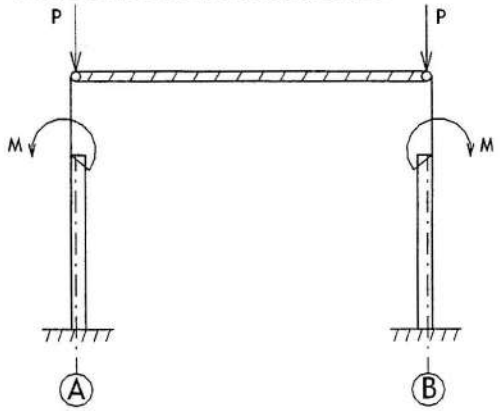
$$\boxed{p_z^e = \gamma_e \cdot p_z^n \left[kN/m^2\right]}$$

unde :

γ_e = coeficient parțial de siguranță pentru verificări de S.L.U. sub încărcări din gruparea specială; $\gamma_e = 0.3$;

$p_z^e = \gamma_e \cdot p_z^n = 0.3 \times 1.20kN/m^2 = 0.36kN/m^2$.

E.1. SCHEMĂ DE ÎNCĂRCARE:



$$M = P \cdot e_1;$$

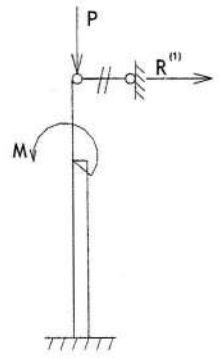
$$P = p \cdot S_{aferent} = p \cdot \frac{t \cdot D}{2}.$$

$e_1 = 0.15m; p_z^F = 1.82kN/m^2$;

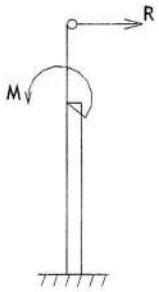
$$P = p_z^F \cdot S_{aferent} = p_z^F \cdot \frac{D \cdot t}{2} = 1.82kN/m^2 \cdot \frac{24m \cdot 11m}{2} = 240.24kN;$$

$$M = P \cdot e_1 = 240.24kN \cdot 0.150m = 36.044kN \cdot m.$$

E.2. SCHEMĂ STÂLP AX-A:



E.3. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE *R*:

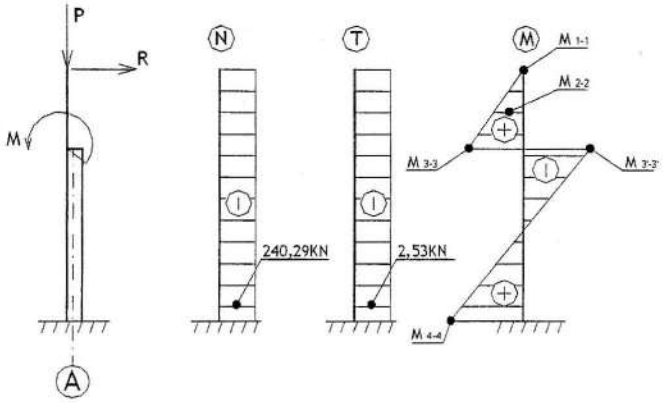


Observație:
Forța de fixare *R* se calculează cu relația (1).

$R = 0.0702 \cdot M;$

$R = 0.0702 \cdot 36.044 = 2.53kN.$

E.4. TRASARE DIAGRAME DE EFORTURI:



$M_{1-1} = 0;$

$M_{2-2} = 2.53kN \cdot 4.35m = 11.01kN \cdot m;$

$M_{3-3} = 2.53kN \cdot 5.5m = 13.92kN \cdot m;$

$M'_{3-3} = 13.915kN \cdot m - 36.044kN \cdot m = -22.13kN \cdot m;$

$M_{4-4} = 2.53kN \cdot 17.5m - 36.044kN \cdot m = 8.23kN \cdot m.$

F. ÎNCĂRCĂRI VERTICALE MARI GENERATE DE PODURILE RULANTE (încărcări variabile):

F.0. EVALUAREA ÎNCĂRCĂRILOR PRODUSE DE ACȚIUNEA PODURILOR RULANTE:

F.0.1. ÎNCĂRCĂRI VERTICALE MARI (corespunzătoare presiunilor maxime pe roți):

Observație:
La calculul cadrului transversal toate podurile rulante sunt considerate ca fiind o singură încărcare variabilă (coeficientul de grupare $n_g = 1.0$), de existența mai multor poduri rulante ținându-se seama printr-un coeficient de simultaneitate subunitar n_s. Pentru stabilirea încărcărilor cu valori de calcul nu se iau în considerare coeficienții dinamici (ψ, α).

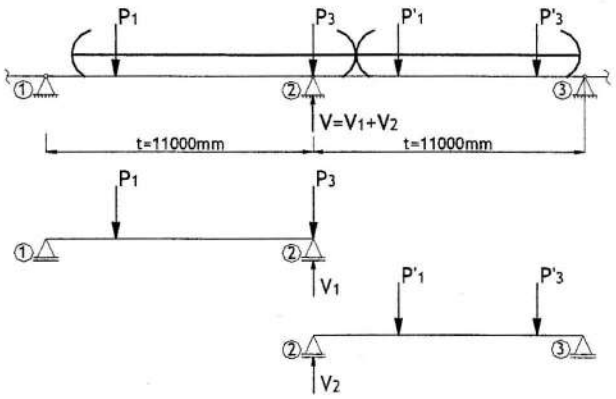


Fig.4.11. Calculul reacțiunii V corespunzătoare presiunilor maxime pe roți

$P_1 = n_s \cdot n_i \cdot P_1^n = 0.95 \cdot 1.2 \cdot 26.2 = 29.868tf = 298.68kN;$

$P_3 = n_s \cdot n_i \cdot P_3^n = 0.95 \cdot 1.2 \cdot 30.4 = 34.656tf = 346.56kN;$

$P_1' = n_s \cdot n_i \cdot P_1'^n = 0.95 \cdot 1.2 \cdot 14.0 = 15.96tf = 159.6kN;$

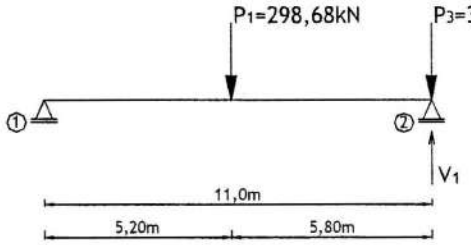
$P_3' = n_s \cdot n_i \cdot P_3'^n = 0.95 \cdot 1.2 \cdot 16.8 = 19.152tf = 191.52kN.$

unde:

$P_1^n, P_3^n, P_1'^n, P_3'^n$ =valorile normate ale presiunilor pe roți (se găsesc la punctul 3.3).

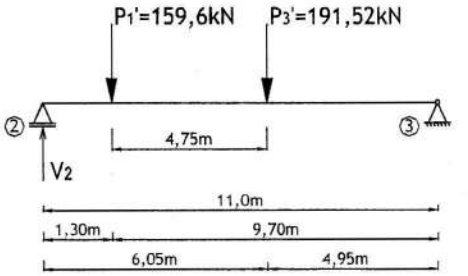
n_s= coeficient de simultaneitate; $n_s = 0.95$.

n_i= coeficient parțial de siguranță; $n_i = \begin{cases} 1.2 - pentru\_încărcări\_verticale; \\ 1.3 - pentru\_încărări\_orizontale. \end{cases}$



$$\left(\sum M\right)_1 = 0 \Leftrightarrow -V_1 \cdot 11m + 298.68kN \cdot 5.2m + 346.56kN \cdot 11m = 0$$

$$\Leftrightarrow V_1 = 487.75kN.$$



$$\left(\sum M\right)_3 = 0 \Leftrightarrow V_2 \cdot 11m - 159.6kN \cdot 9.7m - 191.52kN \cdot 4.95m = 0$$

$$\Leftrightarrow V_2 = 226.92kN.$$

$$V = V_1 + V_2 = 226.92kN + 487.75kN = 714.67kN.$$

F.0.2. ÎNCĂRCĂRI VERTICALE MICI (corespunzătoare presiunilor minime pe roți):

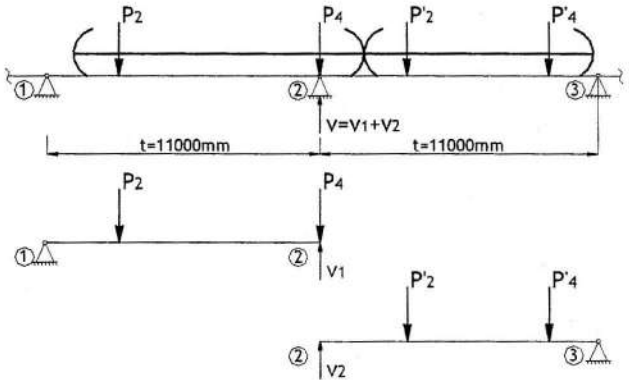


Fig.4.12. Calculul reacțiunii *v* corespunzătoare presiunilor maxime pe roți

$P_2 = n_s \cdot n_i \cdot P_2^n = 0.95 \cdot 1.2 \cdot 6.0 = 6.84tf = 68.4kN;$

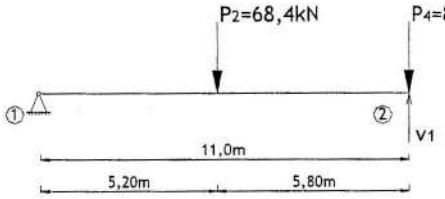
$P_4 = n_s \cdot n_i \cdot P_4^n = 0.95 \cdot 1.2 \cdot 7.3 = 8.322tf = 83.22kN;$

$P_2' = n_s \cdot n_i \cdot P_2'^n = 0.95 \cdot 1.2 \cdot 3.6 = 4.104tf = 41.04kN;$

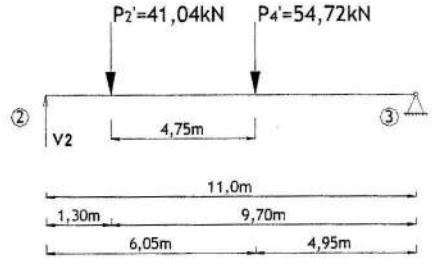
$P_4' = n_s \cdot n_i \cdot P_4'^n = 0.95 \cdot 1.2 \cdot 4.8 = 5.472tf = 54.72kN.$

unde:

$P_2^n, P_4^n, P_2'^n, P_4'^n$ = valorile normate ale presiunilor pe roți (se găsesc la punctul 3.3).



$$\left(\sum M\right)_1 = 0 \Leftrightarrow -v_1 \cdot 11m + 68.4kN \cdot 5.2m + 83.22kN \cdot 11m = 0$$
$$\Leftrightarrow v_1 = 115.55kN.$$



$$\left(\sum M\right)_3 = 0 \Leftrightarrow v_2 \cdot 11m - 41.04kN \cdot 9.7m - 54.72kN \cdot 4.95m = 0$$
$$\Leftrightarrow v_1 = 60.81kN.$$

$$v = v_1 + v_2 = 60.81kN + 115.55kN = 176.36kN.$$

F.0.3. ÎNCĂRCĂRI ORIZONTALE (corespunzătoare frânării/demarării cărucioarelor rulante):

Observație:

Încărcările orizontale P_t și P_t' generate de frânarea/demararea cărucioarelor rulante, acționează în exact aceleași secțiuni pe grindă ca și presiunile pe roată folosite pentru stabilirea încărcărilor verticale mici și mari. (Valorile P_t^n și $P_t'^n$ se găsesc la punctul 3.3).

$P_t = n_s \cdot n_i \cdot P_t^n = 0.95 \cdot 1.3 \cdot 1.1575tf = 1.430tf = 14.30kN;$

$P_t' = n_s \cdot n_i \cdot P_t'^n = 0.95 \cdot 1.3 \cdot 0.605tf = 0.747tf = 7.47kN.$

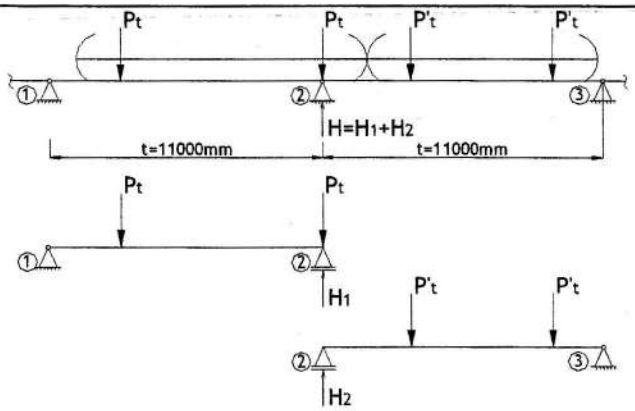
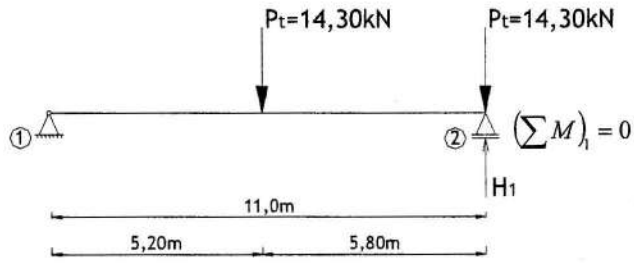
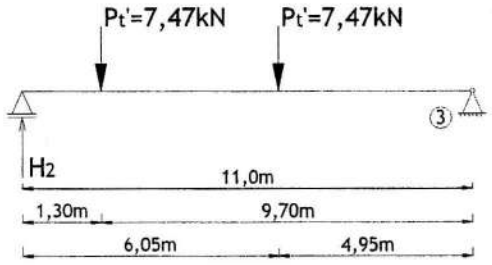


Fig.4.13. Calculul reacțiunii ***H*** corespunzătoare frânării/demarării cărucioarelor rulante



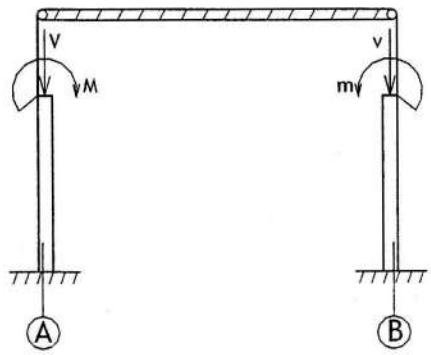
$$\left(\sum M\right)_1 = 0 \Leftrightarrow -H_1 \cdot 11m + 14.30kN \cdot 5.2m + 14.30kN \cdot 11m = 0$$
$$\Leftrightarrow H_1 = 21.06kN.$$



$$\left(\sum M\right)_3 = 0 \Leftrightarrow H_2 \cdot 11m - 7.47kN \cdot 9.7m - 7.47kN \cdot 4.95m = 0$$
$$\Leftrightarrow H_2 = 9.95kN.$$

$$H = H_1 + H_2 = 21.06kN + 9.95kN = 31.01kN.$$

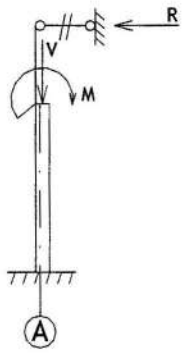
F.1. SCHEMĂ STATICĂ:



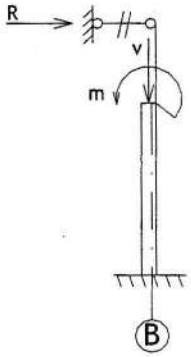
$$M = V \cdot e_2;$$
$$m = v \cdot e_2.$$

$e_2 = 0.85m$; $V = 714.67kN$; $v = 176.36kN$;
$M = V \cdot e_2 = 714.67kN \cdot 0.850m = 607.47kN \cdot m$;
$m = v \cdot e_2 = 176.36kN \cdot 0.850m = 149.91kN \cdot m$.

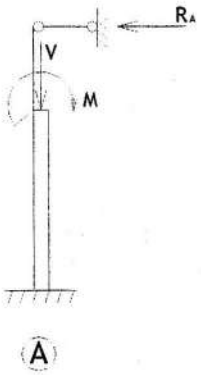
F.2.1. SCHEMĂ STÂLP AX-A:



F.2.2. SCHEMĂ STÂLP AX-B:



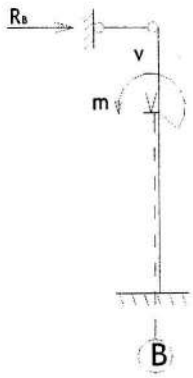
F.3. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE R:
F.3.1. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE R_A:



Observație:
Forța R_A se calculează utilizând relația (1):

$R_A = 0.0702 \cdot M$;
$R_A = 0.0702 \cdot 607.47 = 42.644kN$.

F.3.2. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE R_B:



Observație:
Forța R_B se calculează utilizând relația (1):

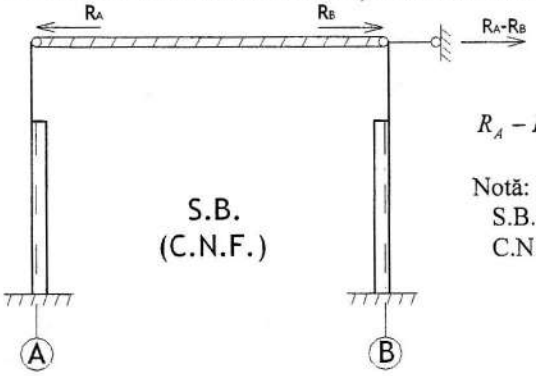
$R_B = 0.0702 \cdot m$;
$R_B = 0.0702 \cdot 149.91 = 10.524kN$.

Observație:

Cadrul transversal analizat este un cadru cu noduri deplasabile, cu un grad de libertate dinamică (translația pe orizontală a capetelor superioare ale stâlpilor).

Se blochează acest grad de libertate cu un pendul fictiv şi se obține un cadru cu noduri fixe ca sistem de bază.

F.3.3. DETERMINAREA REACȚIUNII DIN PENDUL:



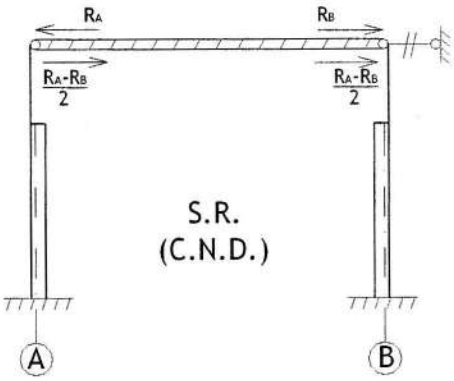
$$R_A - R_B = 42.644kN - 10.524kN = 32.12kN;$$

Notă:

S.B. = sistem de bază;

C.N.F. =cadru cu noduri fixe.

F.3.4. DISTRIBUIREA REACȚIUNII DIN PENDUL:



Notă:

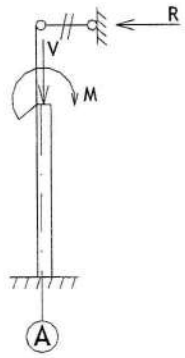
S.R. = structură reală;

C.N.D. = Cadru cu noduri deplasabile (translatabile)

Observație:

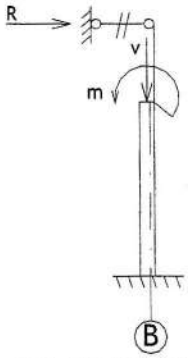
Reacțiunea din pendul se distribuie stâlpilor proporțional cu rigiditatea acestora. Cum stâlpii din axul A şi B sunt identici ca alcătuire, rezultă că au aceeaşi rigiditate. Prin urmare reacțiunea din pendul se distribuie în mod egal celor doi stâlpi.

F.3.5. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE *R* (pentru stâlpul din axul A):



$$R = R_A - \frac{R_A - R_B}{2} = \frac{R_A + R_B}{2} = \frac{42.644kN + 10.524kN}{2} = 26.584kN.$$

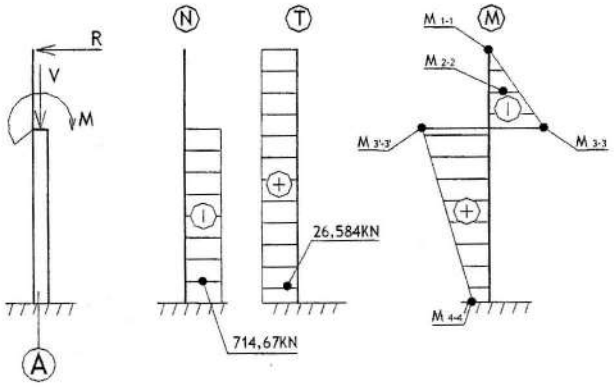
F.3.6. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE *R* (pentru stâlpul din axul B):



$$R = R_B + \frac{R_A - R_B}{2} = \frac{R_A + R_B}{2} = 26.584kN.$$

Observație:
Forțele de fixare calculate la punctul F.3.5. şi la punctul F.3.6. trebuie să rezulte cu valori identice.

F.4. TRASARE DIAGRAME DE EFORTURI:



$M_{1-1} = 0; M_{2-2} = -26.584kN \cdot 4.35m = -115.64kN \cdot m;$

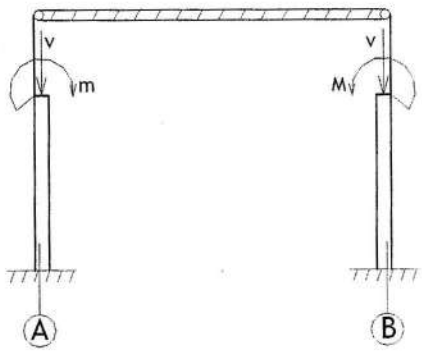
$M_{3-3} = -26.584kN \cdot 5.5m = -146.21kN \cdot m;$

$M'_{3-3} = -146.21kN \cdot m + 607.47kN \cdot m = 461.26kN \cdot m;$

$M_{4-4} = -26.584kN \cdot 17.5m + 607.47kN \cdot m = 142.25kN \cdot m.$

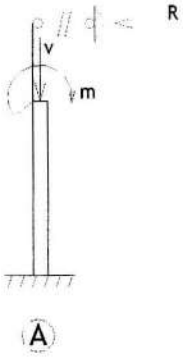
G. ÎNCĂRCĂRI VERTICALE MICI GENERATE DE PODURILE RULANTE (încărcări variabile):

G.1. SCHEMĂ STATICĂ:



$$m = v \cdot e_2;$$
$$M = V \cdot e_2.$$

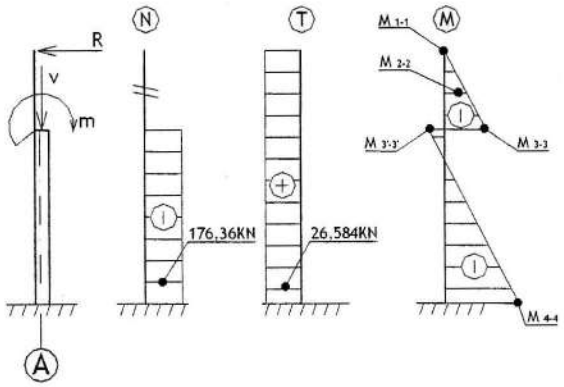
G.2. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE *R*:



$R = 26.584kN.$

Observație:
Forța de fixare este aceeași cu cea calculată la punctul F.3.6.

G.3. TRASARE DIAGRAME DE EFORTURI



$M_{1-1} = 0; M_{2-2} = -26.584kN \cdot 4.35m = -115.64kN \cdot m;$

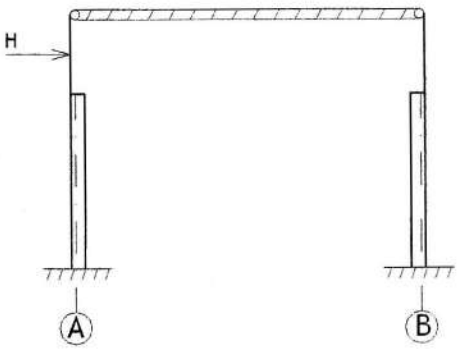
$M_{3-3} = -26.584kN \cdot 5.5m = -146.21kN \cdot m;$

$M'_{3-3} = -146.21kN \cdot m + 149.91kN \cdot m = 3.69kN \cdot m;$

$M_{4-4} = -26.584kN \cdot 17.5m + 149.91kN \cdot m = -315.31kN \cdot m.$

H. ÎNCĂRCARE ORIZONTALĂ (→) DIN FRÂNAREA CĂRUCIOARELOR PE STÂLPUL DIN AXUL-A (încărcare variabilă):

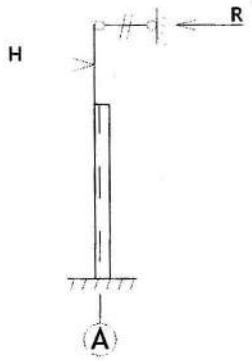
H.1. SCHEMA DE ÎNCĂRCARE



$H = 40.039kN;$

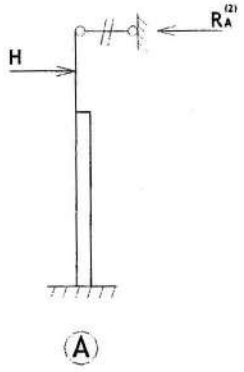
Observație:
Forța *H* se aplică la nivelul secțiunii 2-2 de pe stâlp.

H.2. SCHEMĂ STÂLP AX-A:



H.3. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE *R*:

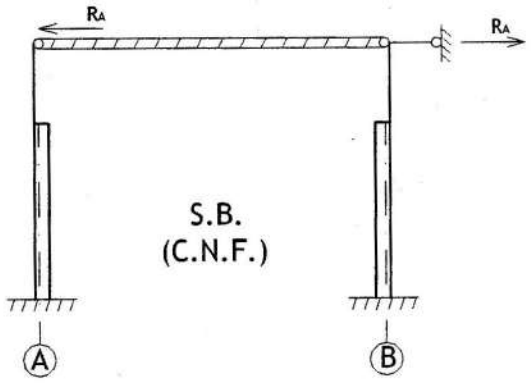
H.3.1. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE R_A:



Observație:
Forța R_A se calculează utilizând relația (2):

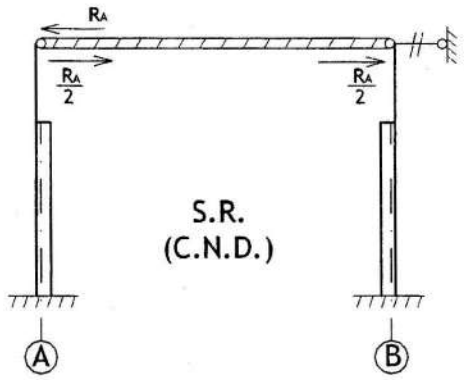
$$R_A = 0.811 \cdot H;$$
$$R_A = 0.811 \cdot 40.039kN = 32.472kN.$$

H.3.2. DETERMINAREA REACȚIUNII DIN PENDUL:

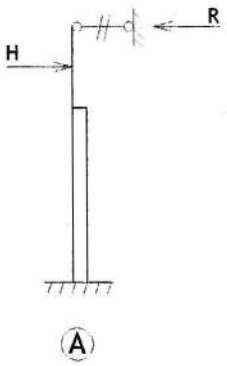


$$R_A = 32.472kN.$$

H.3.3. DISTRIBUIREA REACŢIUNII DIN PENDUL:

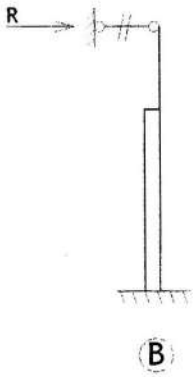


H.3.4. CALCUL FORŢĂ DE FIXARE *R* (pentru stâlpul din axul A):



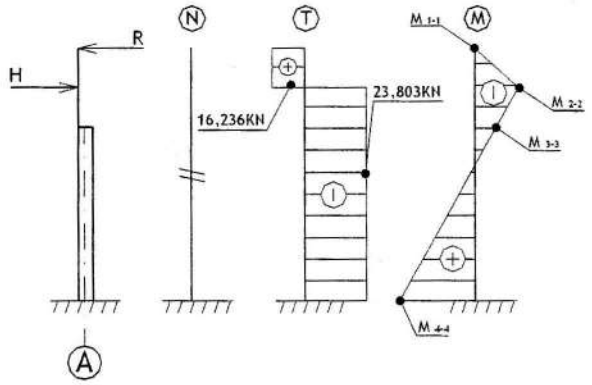
$$R = R_A - \frac{R_A}{2} = 16.236kN.$$

H.3.5. CALCUL FORŢĂ DE FIXARE *R* (pentru stâlpul din axul B):



$$R = \frac{R_A}{2} = 16.236kN.$$

H.4. TRASARE DIAGRAME DE EFORTURI:



$M_{1-1} = 0; M'_{3-3} = M_{3-3};$

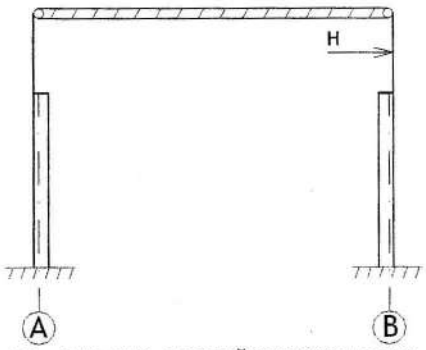
$M_{2-2} = -16.236kN \cdot 4.35m = -70.63kN \cdot m;$

$M_{3-3} = -16.236kN \cdot 5.5m + 40.039kN \cdot 1.15m = -43.25kN \cdot m;$

$M_{4-4} = -16.236kN \cdot 17.5m + 40.039kN \cdot 13.15m = 242.38kN \cdot m.$

I. ÎNCĂRCARE ORIZONTALĂ (→) DIN FRÂNAREA CĂRUCIOARELOR PE STÂLPUL DIN AXUL-B (încărcare variabilă):

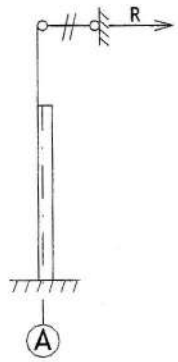
I.1. SCHEMA STATICĂ:



$H = 40.039kN;$

Observație:
Forța H se aplică la nivelul secțiunii 2-2 de pe stâlp.

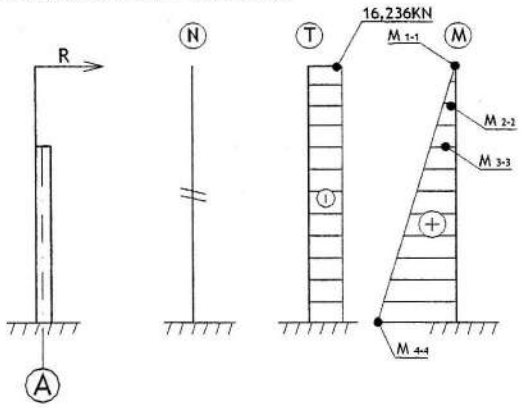
I.2. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE R:



$R = 16.236kN.$

Observație:
Forța de fixare este aceeași cu cea calculată la punctul H.3.5.

I.3. TRASARE DIAGRAME DE EFFORTURI:



$M_{1-1} = 0; M'_{3-3} = M_{3-3};$

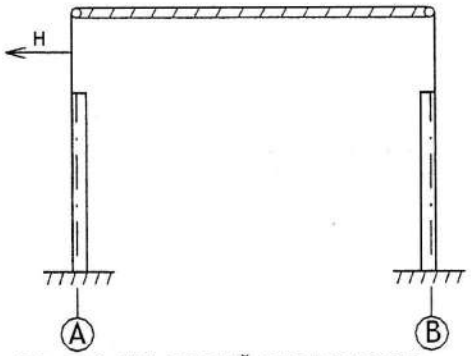
$M_{2-2} = 16.236kN \cdot 4.35m = 70.63kN \cdot m;$

$M_{3-3} = 16.236kN \cdot 5.5m = 89.3kN \cdot m;$

$M_{4-4} = 16.236kN \cdot 17.5m = 284.13kN \cdot m.$

J. ÎNCĂRCARE ORIZONTALĂ (←) DIN FRÂNAREA CĂRUCIOARELOR PE STÂLPUL DIN AXUL-A (încărcare variabilă):

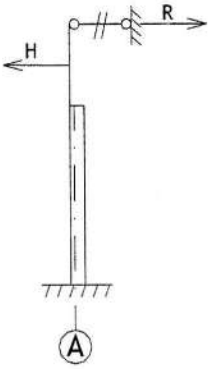
J.1. SCHEMA STATICĂ:



$H = 40.039kN;$

Observație:
Forța H se aplică la nivelul secțiunii 2-2 de pe stâlp.

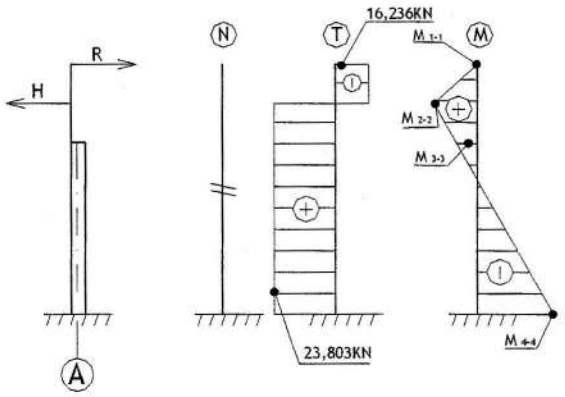
J.2. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE R:



$R = 16.236kN.$

Observație:
Forța de fixare este aceeași cu cea calculată la punctul H.3.5.

J.3. TRASARE DIAGRAME DE EFORTURI:



$M_{1-1} = 0; M'_{3-3} = M_{3-3};$

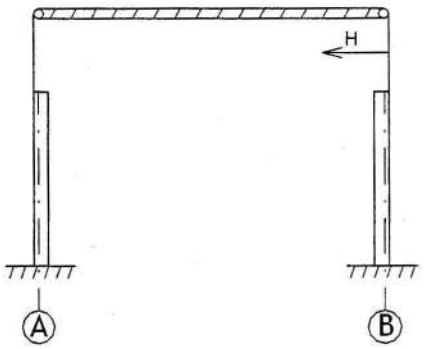
$M_{2-2} = 16.236kN \cdot 4.35m = 70.63kN \cdot m;$

$M_{3-3} = 16.236kN \cdot 5.5m - 40.039kN \cdot 1.15m = 43.25kN \cdot m;$

$M_{4-4} = 16.236kN \cdot 17.5m - 40.039kN \cdot 13.15m = -242.38kN \cdot m.$

K. ÎNCĂRCARE ORIZONTALĂ (←) DIN FRÂNAREA CĂRUCIOARELOR PE STÂLPUL DIN AXUL-B (încărcare variabilă):

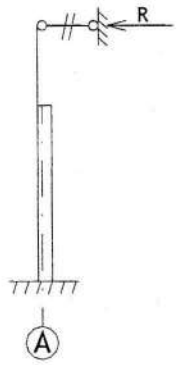
K.1. SCHEMA STATICĂ:



$H = 40.039kN;$

Observație:
Forța H se aplică la nivelul secțiunii 2-2 de pe stâlp.

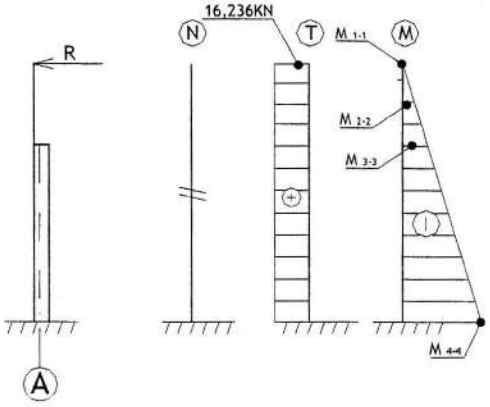
K.2. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE R:



$R = 16.236kN.$

Observație:
Forța de fixare este aceeași cu cea calculată la punctul H.3.5.

K.3. TRASARE DIAGRAME DE EFORTURI:



$M_{1-1} = 0; M'_{3-3} = M_{3-3};$

$M_{2-2} = -16.236kN \cdot 4.35m = -70.63kN \cdot m;$

$M_{3-3} = -16.236kN \cdot 5.5m = -89.30kN \cdot m;$

$M_{4-4} = -16.236kN \cdot 17.5m = -284.13kN \cdot m.$

Observație:

În calcul nu se poate lua în considerare o încărcare orizontală dată de acțiunea podurilor rulante (cazurile de încărcare H, I, J sau K) fără a lua în considerare și o încărcare verticală generată de acțiunea podurilor rulante (cazurile de încărcare F sau G).

L. ÎNCĂRCĂRI DATE DE VÂNT $(\rightarrow)$ (încărcare variabilă):

L.0. EVALUAREA ÎNCĂRCĂRILOR GENERATE DE ACȚIUNEA VÂNTULUI:

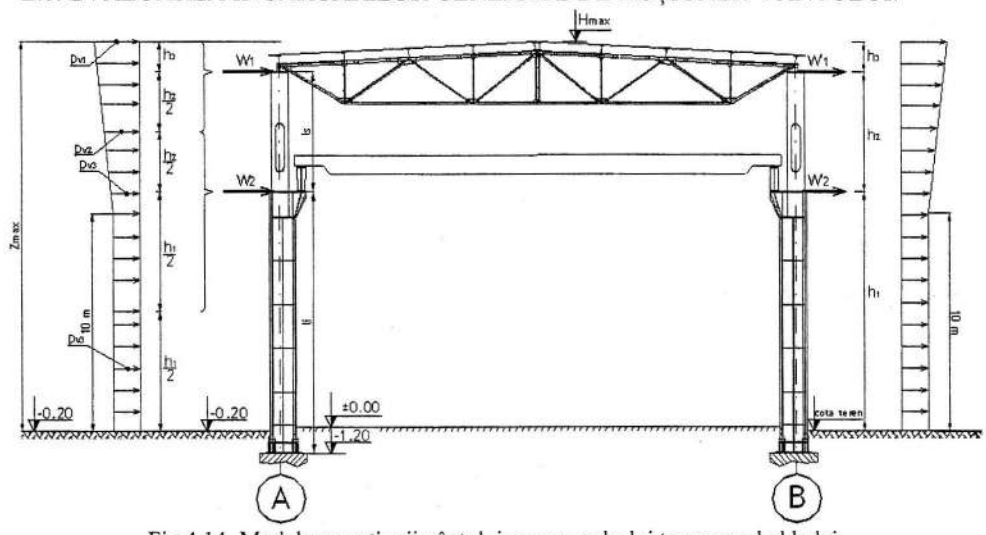


Fig.4.14. Modelarea acțiunii vântului asupra cadrului transversal al halei

Forțele W_1, W_2 și respectiv W_1', W_2' apar în dreptul legăturilor stâlpilor de închidere ce susțin pereții laterali (contravântuirea orizontală longitudinală la nivelul acoperișului și contravântuirea orizontală de la nivelul tălpii inferioare a grinzii căii de rulare).

W_2 şi respectiv W_2' reprezintă reacţiunile acţiunii vântului (presiune, respectiv sucţiune) de pe pereţii laterali luând în calcul o zonă aferentă având înălţimea egală cu $\frac{h_1}{2}+\frac{h_2}{2}$.

W_1 şi respectiv W_1' reprezintă reacţiunile acţiunii vântului (presiune, respectiv sucţiune) de pe pereţii laterali luând în calcul o zonă aferentă având înălţimea egală cu $\frac{h_2}{2}+h_3$.

$h_1 = l_i - 1.20m + 0.20m = 12.0m - 1.20m + 0.20m = 11.0m;$

$h_2 = l_s = 5.5m;$

$h_3 = z_{\max} - h_1 - h_2 = 17.97m - 11.0m - 5.5m = 1.47m.$

unde:

l_i = lungimea tronsonului inferior de stâlp; $l_i = 12.0m$;

l_s = lungimea tronsonului superior de stâlp; $l_s = 5.5m$;

$z_{\max}$ = înălţimea maximă a construcţiei faţă de cota terenului natural; $z_{\max} = 17.97m$.

Intensitatea normată a acţiunii vântului ce se exercită perpendicular pe suprafaţa expusă se calculează cu relaţia:

$$\boxed{p_n^n = \beta \cdot c_{ni} \cdot c_h(z) \cdot g_v}$$

unde:

β = coeficient de rafală; $\beta = 1.6$;

c_{ni} = coeficient aerodinamic pe suprafaţa „i" ;

$c_{ni} = 0.8$ pentru presiune; c_{ni} = pentru sucţiune;

g_v = presiunea dinamică de bază stabilizată la înălţimea de 10m deasupra terenului;

$g_v = 0.55kN/m^2$;

$c_h(z)$= coeficient de variaţie a presiunii dinamice de bază în raport cu înălţimea z deasupra terenului liber;

$c_h(z) = 0.65 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0.44} \geq 0.65$; (valoarea z din această relaţie se introduce în metri).

Pentru calculul valorilor reacţiunilor W_1 şi W_2 se calculează presiunile:

$p_{v1} = \beta \cdot c_{ni} \cdot c_h(z = z_{\max}) \cdot g_v \cdot t = 1.6 \cdot 0.8 \cdot 0.84 \cdot 0.55 \cdot 11 = 6.505kN/m;$

$p_{v2} = \beta \cdot c_{ni} \cdot c_h\left(z = h_1 + \frac{h_2}{2}\right) \cdot g_v \cdot t = 1.6 \cdot 0.8 \cdot 0.748 \cdot 0.55 \cdot 11 = 5.793kN/m;$

$p_{v3} = \beta \cdot c_{ni} \cdot c_h(z = 10m) \cdot g_v \cdot t = 1.6 \cdot 0.8 \cdot 0.65 \cdot 0.55 \cdot 11 = 5.034kN/m.$

unde:

t = traveea halei; $t = 11.0m$;

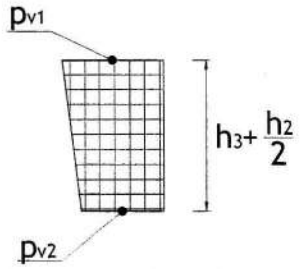
$c_h(z_{\max}) = 0.65 \cdot \left(\frac{17.97}{10}\right)^{0.44} = 0.84;$

$c_h\left(h_1 + \frac{h_2}{2}\right) = 0.65 \cdot \left(\frac{13.75}{10}\right)^{0.44} = 0.748;$

$c_h(10m) = 0.65 \cdot \left(\frac{10}{10}\right)^{0.44} = 0.65.$

γ_F - coeficient parţial de siguranţă; $\gamma_F = 1.2$.

$W_1 = \gamma_F \cdot S_1$, unde S_1 reprezintă aria diagramei următoare:

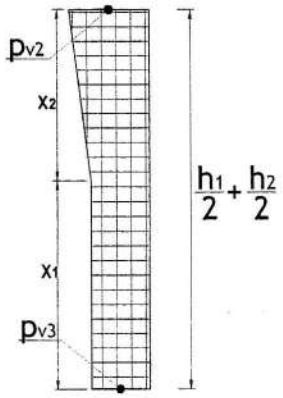


$$S_1 = \frac{p_{v1} + p_{v2}}{2} \cdot \left(h_3 + \frac{h_2}{2} \right);$$

$$S_1 = \frac{(6.505 + 5.793)kN/m}{2} \cdot \left(1.47 + \frac{5.5}{2} \right) m = 24.86kN.$$

$$W_1 = \gamma_F \cdot S_1 = 1.2 \cdot 24.86kN = 29.83kN.$$

$W_2 = \gamma_F \cdot S_2$, unde S_2 reprezintă aria diagramei următoare:



$$S_2 = \frac{(p_{v2} + p_{v3})}{2} \cdot x_2 + p_{v3} \cdot x_1;$$

$$S_2 = \frac{(5.793 + 5.034)kN/m \cdot 3.75m}{2} + 5.034kN/m \cdot 4.5m$$

$$\Rightarrow S_2 = 42.95kN.$$

unde:

$$x_1 = \left(h_1 + \frac{h_2}{2} \right) - 10.0m = \left(11.0 + \frac{5.5}{2} \right) m - 10.0m = 3.75m;$$

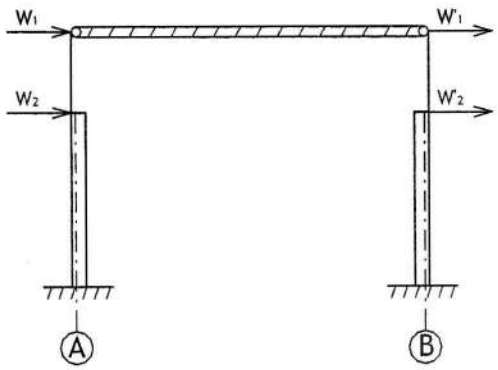
$$x_2 = \left(\frac{h_1}{2} + \frac{h_2}{2} \right) - x_1 = \left(\frac{11.0}{2} + \frac{5.5}{2} \right) m - 3.75m = 4.5m.$$

$$W_2 = \gamma_F \cdot S_2 = 1.2 \cdot 42.95kN = 51.54kN.$$

$$W_1' = \frac{c_{ni}(suctiune)}{c_{ni}(presiune)} \cdot W_1 = \frac{0.6}{0.8} \cdot W_1 = 0.75 \cdot W_1 = 0.75 \cdot 29.83kN = 18.62kN;$$

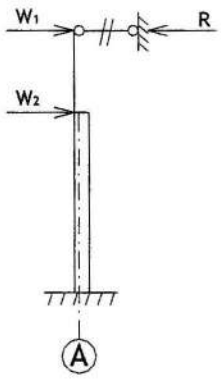
$$W_2' = 0.75 \cdot W_2 = 0.75 \cdot 51.54kN = 38.66kN.$$

L.1. SCHEMĂ SATICĂ

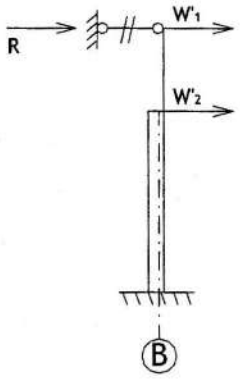


$W_1 = 29.83kN;$
$W_2 = 51.54kN;$
$W'_1 = 18.62kN;$
$W'_2 = 38.66kN.$

L.2.1. SCHEMĂ STÂLP AX-A:

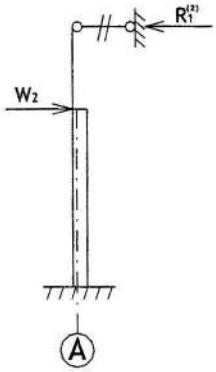


L.2.2. SCHEMĂ STÂLP AX-B:



L.3. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE *R*:

L.3.1. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE R_1:

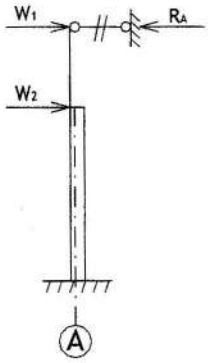


Observație:
Forța R_1 se calculează utilizând relația (2):

$R_1 = 0.811 \cdot W_2;$

$R_1 = 0.811 \cdot 51.54kN = 41.799kN.$

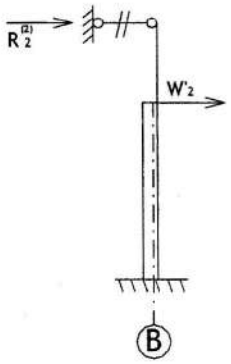
L.3.2. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE R_A:



$R_A = R_1 + W_1;$

$R_A = 41.799kN + 29.83kN = 71.63kN.$

L.3.3. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE R_2:

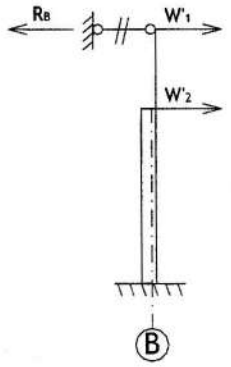


Observație:
Forța R_2 se calculează utilizând relația (2):

$R_2 = 0.811 \cdot W_2'$;

$R_2 = 0.811 \cdot 38.66kN = 31.35kN.$

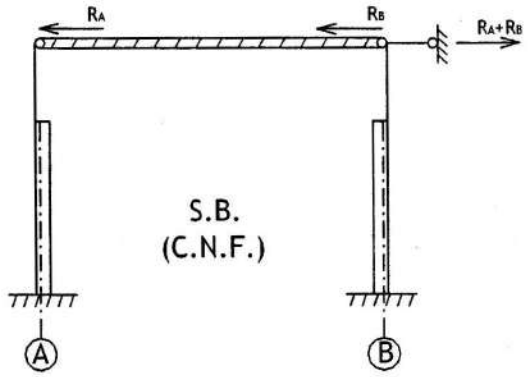
L.3.4. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE R_B:



$R_B = R_2 + W_1' = 31.35kN + 18.62kN$

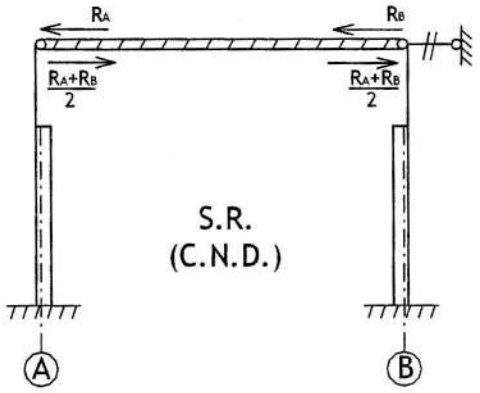
$R_B = 49.97kN.$

L.3.5. DETERMINAREA REACȚIUNII DIN PENDUL:

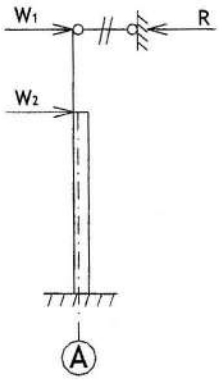


$R_A + R_B = 71.63kN + 49.97kN = 121.6kN.$

L.3.6. DISTRIBUIREA REACȚIUNII DIN PENDUL:



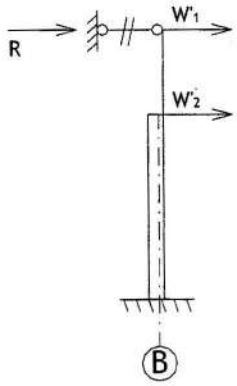
L.3.7. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE *R* (pentru stâlpul din axul A):



$$R = R_A - \frac{R_B + R_A}{2} = \frac{R_A - R_B}{2};$$

$$R = \frac{71.63kN - 49.97kN}{2} = 10.83kN.$$

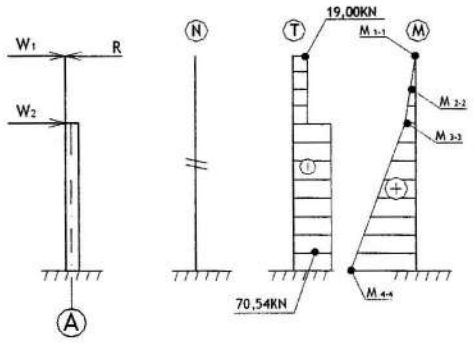
L.3.8. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE *R* (pentru stâlpul din axul B):



$$R = \frac{R_B + R_A}{2} - R_B = \frac{R_A - R_B}{2};$$

$$R = \frac{71.63kN - 49.97kN}{2} = 10.83kN.$$

L.4. TRASARE DIAGRAME DE EFORTURI:



$M_{1-1}=0; M'_{3-3}=M_{3-3};$

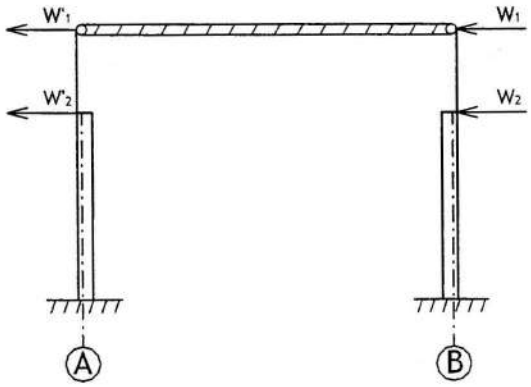
$M_{2-2}=29.83kN\cdot 4.35m-10.83kN\cdot 4.35m=82.65kN\cdot m;$

$M_{3-3}=29.8kN\cdot 5.5m-10.8kN\cdot 5.5m=104.5kN\cdot m;$

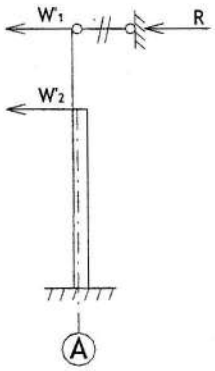
$M_{4-4}=29.83kN\cdot 17.5m+51.54kN\cdot 12m-10.83kN\cdot 17.5m=950.98kN\cdot m.$

M. ÎNCĂRCĂRI DATE DE VÂNT (←) (încărcare variabilă):

M.1. SCHEMA STATICĂ:



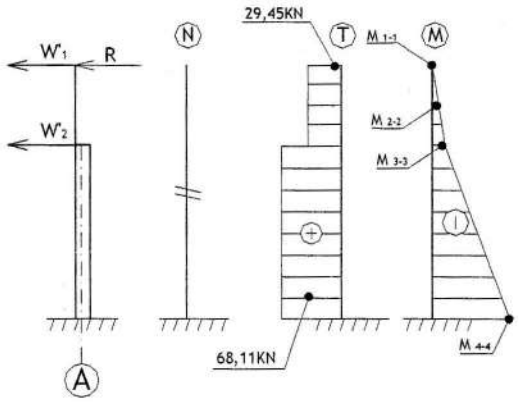
M.2. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE *R*:



$R=10.83kN.$

Observație:
Forța de fixare este aceeași cu cea calculată la punctul L.3.8.

M.3. TRASARE DIAGRAME DE EFORTURI:



$M_{1-1} = 0; M'_{3-3} = M_{3-3};$

$M_{2-2} = -29.45kN \cdot 4.35m = -128.11kN \cdot m;$

$M_{3-3} = -29.45kN \cdot 5.5m = -161.98kN \cdot m;$

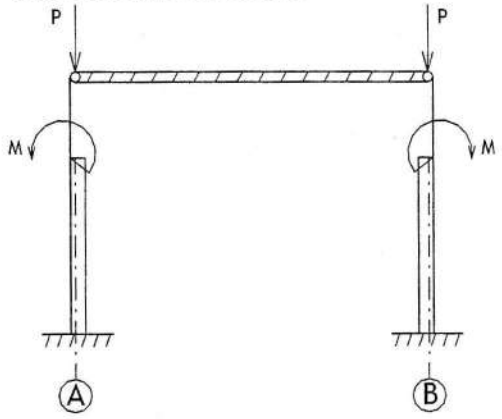
$M_{4-4} = -29.45kN \cdot 17.5m - 38.66kN \cdot 12m = -979.30kN \cdot m$

N. ÎNCĂRCĂRI GRAVITAȚIONALE ÎN GRUPAREA SPECIALĂ DE ÎNCĂRCĂRI LA NIVELUL ACOPERIȘULUI

N.0. EVALUARE ÎNCĂRCĂRI GRAVITAȚIONALE LA NIVELUL ACOPERIȘULUI

Încărcare	Tip	Valori normate [kN/m^2]
-greutate proprie învelitoare	P	0.50
-greutate pane și contravântuiri	P	0.20
-greutate ferme	P	0.15
- spațiu tehnic	C	0.20
- praf industrial	C	1.0
- zăpadă	V	$0.3 \cdot 1.20 = 0.36$
		$p^N = 2.41$

N.1. SCHEMĂ STATICĂ:



$M = P \cdot e_1;$

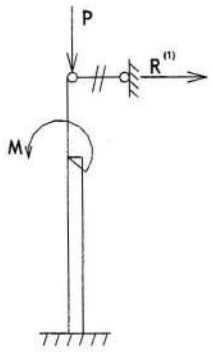
$P = p^N \cdot S_{aferent} = p \cdot \frac{t \cdot D}{2}.$

$e_1 = 0.15m; p^N = 2.41kN/m^2;$

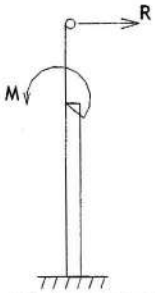
$P = p^N \cdot S_{aferent} = 2.41kN/m^2 \cdot \frac{11m \cdot 24m}{2} = 318.12kN;$

$M = P \cdot e_1 = 318.12kN \cdot 0.150m = 47.72kN \cdot m.$

N.2. SCHEMĂ STÂLP AX-A:



N.3. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE *R*:



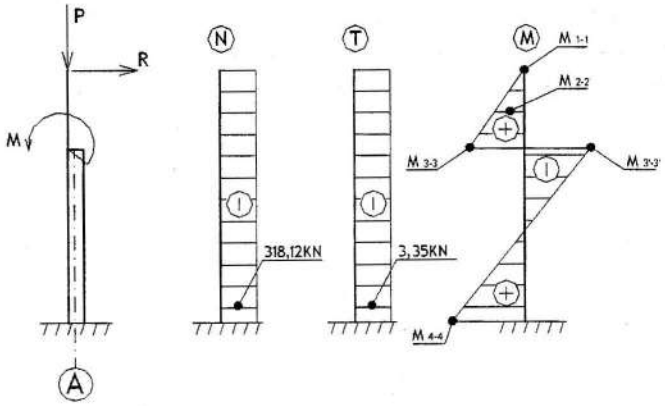
Observație:
Forța de fixare *R* se calculează cu relația (1).

$R = 0.0702 \cdot M;$

$M = 47.72kN \cdot m;$

$R = 0.0702 \cdot 47.72 = 3.35kN.$

N.4. TRASARE DIAGRAME DE FEORTURI:



$M_{1-1} = 0;$

$M_{2-2} = 3.35kN \cdot 4.35m = 14.57kN \cdot m;$

$M_{3-3} = 3.35kN \cdot 5.5m = 18.43kN \cdot m;$

$M'_{3-3} = 18.43kN \cdot m - 47.72kN \cdot m = -29.30kN \cdot m;$

$M_{4-4} = 3.35kN \cdot 17.5m - 47.72kN \cdot m = 10.91kN \cdot m.$

O. ÎNCĂRCĂRI GRAVITAȚIONALE LA NIVELUL CĂII DE RULARE (INCLUSIV GREUTATE PODURI)

O.0. EVALUARE ÎNCĂRCĂRI LA NIVELUL CĂII DE RULARE:

♦ Încărcări uniform distribuite la nivelul firului de rulare:

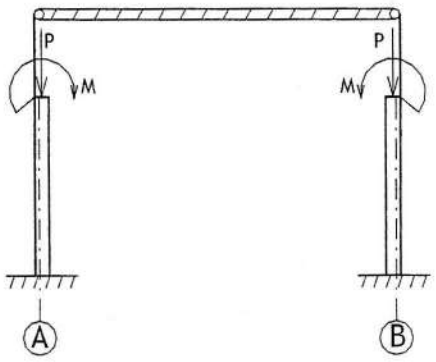
Încărcare	Tip	Valori normate [*kN/m*]
- greutate grindă de rulare	P	1.50
- greutate șină și prinderi	P	0.70
- greutate grindă de frânare	P	0.80
- greutate contravântuire orizontală	P	0.40
- greutate balustradă	P	0.10
- greutate grindă secundară secundară	P	0.40
- spațiu tehnic	C	0.20
- circulație pasarelă	V	0.40
		p_0 = 4.5kN/m

$$G_{DISTRIBUITE} = p_0 \cdot t = 4.5kN/m \cdot 11m = 49.5kN.$$

♦ Greutate permanentă pod rulant neîncărcat:

$G_{POD} = P_1^n + P_2^n + P_3^n + P_4^n - Q$;
G_{POD} = încărcare gravitațională totală dată de podul cel mai greu neîncărcat;
$G_{POD} = 26.2tf + 6.0tf + 30.4tf + 7.3tf - 40tf = 29.9tf$;

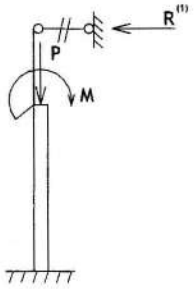
O.1. SCHEMA STATICĂ:



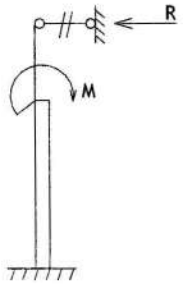
$M = P \cdot e_2$;
$P = p_0 \cdot t$.

$$e_2 = 0.85m; P = G_{DISTRIBUITE} + \frac{G_{POD}}{2} = 49.5kN + \frac{299kN}{2} = 199kN;$$
$$M = P \cdot e_2 = 199kN \cdot 0.850m = 169.15kN \cdot m.$$

O.2. SCHEMĂ STÂLP AX- A:



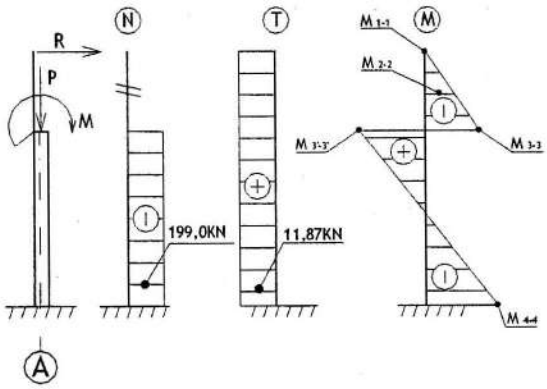
O.3. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE *R*:



Observație:
Forța de fixare *R* se calculează cu relația (1).

$R = 0.0702 \cdot M;$
$R = 0.0702 \cdot 169.15 = 11.87kN.$

O.4. TRASARE DIAGRAME DE EFORTURI:



$M_{1-1} = 0;$
$M_{2-2} = -11.87kN \cdot 4.35m = -51.63kN \cdot m;$
$M_{3-3} = -11.87kN \cdot 5.5m = -65.29kN \cdot m;$
$M'_{3-3} = -11.87kN \cdot 5.5m + 169.15kN \cdot m = 103.87kN \cdot m;$
$M_{4-4} = -11.87kN \cdot 17.5m + 169.15kN \cdot m = -38.58kN \cdot m.$

P. ÎNCĂRCĂRE SEISMICĂ DE COD (→):

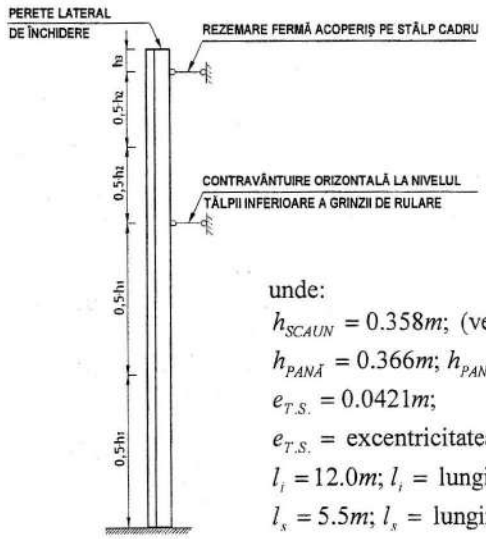
P.0. EVALUARE FORȚEI SEISMICE DE COD AFERENTE UNUI CADRU TRANSVERSAL CURENT: $S_{cod} = c \cdot G_{aferent\_cadru}$

P.0.1. EVALUAREA GREUTĂȚII PEREȚILOR DE ÎNCHIDERE:

Se apreciază că valoarea normată a încărcării date de greutatea proprie a pereților laterali de închidere este de $30daN/m^2$.

$G_{2\_închidere} = 30daN/m^2 \cdot t \cdot (h_3 + 0.5 \cdot h_2) = 0.3kN/m^2 \cdot 11m \cdot (0.8m + 0.5 \cdot 5.5m) = 11.72kN;$

$G_{1\_închidere} = 30daN/m^2 \cdot t \cdot (0.5 \cdot h_2 + 0.5 \cdot h_1) = 0.3kN/m^2 \cdot 11m \cdot (0.5 \cdot 5.5m + 0.5 \cdot 11m) = 27.23kN.$



$h_3 \cong h_{SCAUN} + h_{PANĂ} + e_{T.S.}$;

$h_3 \cong 0.358m + 0.366m + 0.042m;$

$h_3 = 0.766m \cong 0.8m;$

$h_2 = l_s = 5.5m;$

$h_1 = l_i - 1.20m + 0.2m;$

$h_1 = 12.0m - 1.2m + 0.2m = 11.0m.$

unde:

$h_{SCAUN} = 0.358m$; (vezi semnificația din figura 4.15);

$h_{PANĂ} = 0.366m$; $h_{PANĂ}$ = înălțimea secțiunii panei de acoperiș;

$e_{T.S.} = 0.0421m$;

$e_{T.S.}$ = excentricitatea cornierului tălpii superioare a fermei;

$l_i = 12.0m$; l_i = lungimea tronsonului inferior de stâlp;

$l_s = 5.5m$; l_s = lungimea tronsonului superior de stâlp;

Fig. 4.15. Semnificația cotelor h_1, h_2 și h_3.

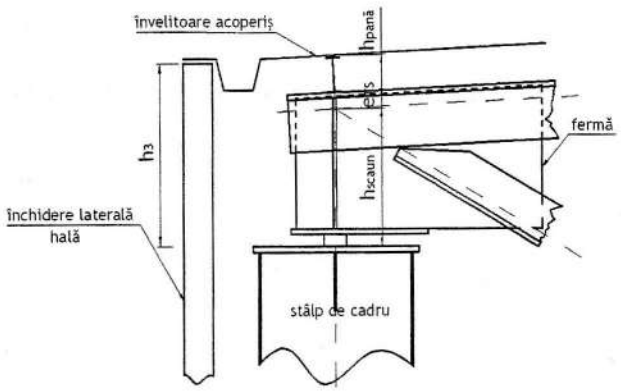


Fig.4.16. Modul de evaluare al cotei h_3.

P.0.2. EVALUAREA FORȚEI SEISMICE DE COD:

$S_{cod} = c \cdot G_{aferent\_cadru}$;

$G_{aferent\_cadru} = 2 \cdot G_1 + 2 \cdot G_2$;

$G_1 = P_{cazO} + G_{1\_închidere} = 11.72kN + 199.0.12kN = 210.72kN \cong 211kN$;

$G_2 = P_{cazN} + G_{2\_închidere} = 27.23kN + 318.12kN = 345.35kN \cong 346kN$;

$G_{aferent\_cadru} = 2 \cdot 211kN + 2 \cdot 346kN = 1114.0kN$;

$c = \alpha \cdot \beta \cdot k_s \cdot \varepsilon \cdot \psi = 1.0 \cdot 2.5 \cdot 0.16 \cdot 1.0 \cdot 0.34 = 0.136$;

$S_{cod} = 0.136 \cdot 1114.0kN = 152.0kN$.

Semnificație coeficienți:

♦ α - coeficientul de importanță al construcției;

Constucția analizată se încadrează în clasa III de importanță (construcții de importanță obișnuită) $\Rightarrow$ $\alpha = 1.0$;

♦ β - coeficient de amplificare dinamică, corespunzător modului de vibrație (fundamental), funcție de compoziția spectrală a mișcării seismice pe amplasament;

Perioada fundamentală de vibrație a construcției analizate este mai redusă decât perioada de colț corespunzătoare amplasamentului: $T_C = 1.0s$ $\Rightarrow$ $\beta = 2.5$;

♦ ψ - coeficient de reducere a efectelor acțiunii seismice ținând seama de ductilitatea structurii, de capacitatea de redistribuiție a eforturilor, de ponderea cu care intervin rezervele de rezistență neconsiderate în calcul, precum și de efectele de amortizare a vibrațiilor, altele decât cele asociate structurii de rezistență; $\psi = 0.2 \cdot 1.7 = 0.34$;

♦ ε - coeficient de echivalență între comportarea structurii reale și comportarea unui sistem cu un grad de libertate dinamică); $\varepsilon \cong 1$;

♦ k_s - coeficient care ține seama de zona seismică a amplasamentului construcției;

Amplasamentul construcției este localitate Roman din județul Neamț $\Rightarrow$ $k_s = 0.16$.

P.0.3. DISTRIBUȚIA PE ÎNĂLȚIME A FORȚEI SEISMICE:

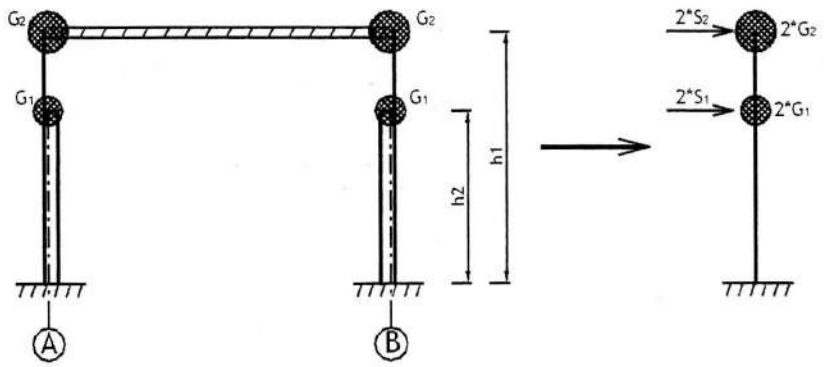


Fig. 4.17. Distribuția pe verticală a forței seismice

unde:

$h_1 = l_i = 12.0m;$

$h_2 = l_i + l_s = 12.0m + 5.5m = 17.5m;$

$$\sum G_i h_i = 2 \cdot G_1 \cdot h_1 + 2 \cdot G_2 \cdot h_2;$$

$$\sum G_i h_i = 2 \cdot 211.0kN \cdot 12.0m + 2 \cdot 346.0kN \cdot 17.5m;$$

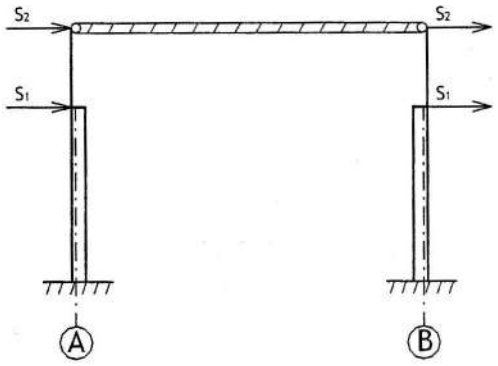
$$\sum G_i h_i = 17174.0kN \cdot m$$

$$S_1 = \frac{G_1 \cdot h_1}{\sum G_i h_i} \cdot S_{cod}; S_2 = \frac{G_2 \cdot h_2}{\sum G_i h_i} \cdot S_{cod};$$

$$S_1 = \frac{211.0kN \cdot 12.0m}{17174.0kN \cdot m} \cdot 152.0kN = 22.41kN;$$

$$S_2 = \frac{346.0kN \cdot 17.5m}{17174.0kN \cdot m} \cdot 152.0kN = 53.59kN;$$

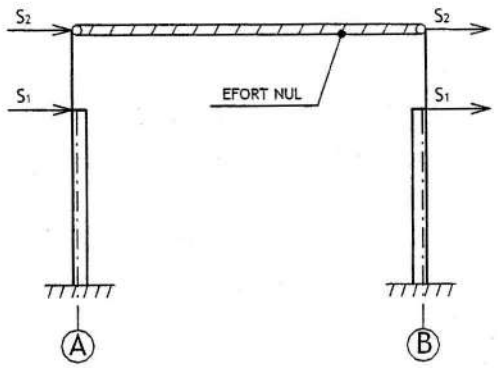
P.1. SCHEMA STATICĂ:



$S_1 = 22.41kN;$

$S_2 = 53.59kN.$

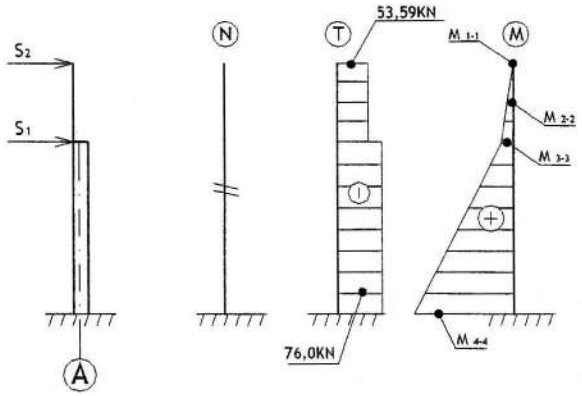
P.2. CALCUL FORȚĂ DE FIXARE *R*:



Observație:

Întrucât stâlpii sunt încărcați identic și au aceeași rigiditate la acțiuni orizontale, rezultă că efortul axial din riglă (forța de fixare a capetelor superioare ale stâlpilor) este nul.

P.3. TRASARE DIAGRAME DE EFORTURI:



$M_{1-1} = 0; M'_{3-3} = M_{3-3};$

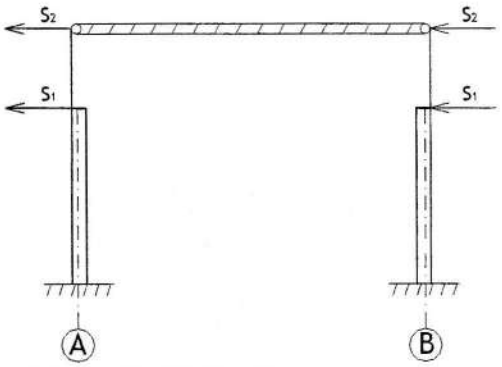
$M_{2-2} = 53.59kN \cdot 4.35m = 233.12kN \cdot m;$

$M_{3-3} = 53.59kN \cdot 5.5m = 294.75kN \cdot m;$

$M_{4-4} = 53.59kN \cdot 17.5m + 22.41kN \cdot 12m = 1206.75kN \cdot m.$

Q. ÎNCĂRCĂRE SEISMICĂ DE COD (←)

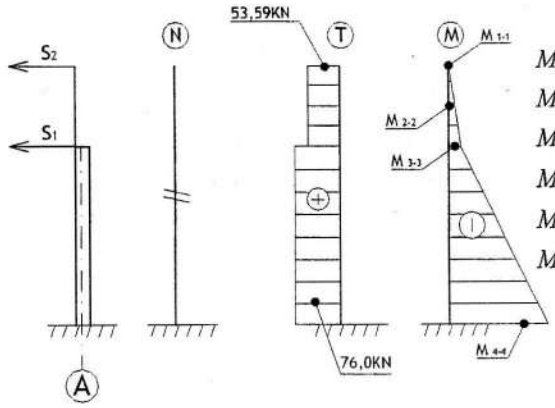
Q.1. SCHEMĂ STATICĂ:



$S_1 = 22.41kN;$

$S_2 = 53.59kN.$

Q.2. TRASARE DIAGRAME DE EFORTURI:



$M_{1-1} = 0;$

$M_{2-2} = -53.59kN \cdot 4.35m = -233.12kN \cdot m;$

$M_{3-3} = -53.59kN \cdot 5.5m = -294.75kN \cdot m;$

$M'_{3-3} = M_{3-3};$

$M_{4-4} = -53.59kN \cdot 17.5m - 22.41kN \cdot 12m;$

$M_{4-4} = -1206.75kN \cdot m.$

TABELE CENTRALIZATOARE EFORTURI:

FORȚE AXIALE:

Caz de încărcare	Tip	N [*kN*] înregistrată în secțiunea				
		1-1	2-2	3-3	3'-3'	4-4
A. Permanente acoperiș	P	-123.42	-123.42	-123.42	-123.42	-123.42
B. Permanente cale de rulare	P	0	0	0	-47.19	-47.19
C. Cvasipermanente acoperiș	C	-190.08	-190.08	-190.08	-190.08	-190.08
D. Cvasipermanente cale de rulare	C	0	0	0	-2.64	-2.64
E. Zăpadă	V	-240.29	-240.29	-240.29	-240.29	-240.29
F. Vericale mari poduri	V	0	0	0	-714.67	-714.67
G. Verticale mici poduri	V	0	0	0	-176.36	-176.36
H. Orizontale poduri → stâlp ax-A	V	0	0	0	0	0
I. Orizontale poduri → stâlp ax-B	V	0	0	0	0	0
J. Orizontale poduri ← stâlp ax-A	V	0	0	0	0	0
K. Orizontale poduri ← stâlp ax-B	V	0	0	0	0	0
L. Vânt →	V	0	0	0	0	0
M. Vânt ←	V	0	0	0	0	0
N. Gravitaționale acoperiș	-	-318.12	-318.12	-318.12	-318.12	-318.12
O. Gravitaționale cale de rulare	-	0	0	0	-199.00	-199.00
P. Seism →	E	0	0	0	0	0
Q. Seism ←	E	0	0	0	0	0

FORȚE TĂIETOARE:

Caz de încărcare	Tip	T [*kN*] înregistrată în secțiunea				
		1-1	2-2	3-3	3'-3'	4-4
A. Permanente acoperiș	P	-1.30	-1.30	-1.30	-1.30	-1.30
B. Permanente cale de rulare	P	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82
C. Cvasipermanente acoperiș	C	-2.00	-2.00	-2.00	-2.00	-2.00
D. Cvasipermanente cale de rulare	C	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
E. Zăpadă	V	-2.53	-2.53	-2.53	-2.53	-2.53
F. Vericale mari poduri	V	26.58	26.58	26.58	26.58	26.58
G. Verticale mici poduri	V	26.58	26.58	26.58	26.58	26.58
H. Orizontale poduri → stâlp ax-A	V	16.24	16.24	-23.80	-23.80	-23.80
I. Orizontale poduri → stâlp ax-B	V	-16.24	-16.24	-16.24	-16.24	-16.24
J. Orizontale poduri ← stâlp ax-A	V	-16.24	-16.24	23.80	23.80	23.80
K. Orizontale poduri ← stâlp ax-B	V	16.24	16.24	16.24	16.24	16.24
L. Vânt →	V	-19.00	-19.00	-19.00	-70.54	-70.54
M. Vânt ←	V	29.45	29.45	29.45	68.11	68.11
N. Gravitaționale acoperiș	-	-3.35	-3.35	-3.35	-3.35	-3.35
O. Gravitaționale cale de rulare	-	11.87	11.87	11.87	11.87	11.87
P. Seism →	E	-53.59	-53.59	-53.59	-76.00	-76.00
Q. Seism ←	E	53.59	53.59	53.59	76.00	76.00

MOMENTE ÎNCOVOIETOARE:

Caz de încărcare	Tip	M [*kNm*] înregistrat în secțiunea				
		1-1	2-2	3-3	3'-3'	4-4
A. Permanente acoperiș	P	0	5.66	7.15	-11.38	4.22
B. Permanente cale de rulare	P	0	-12.25	-15.49	24.62	-9.17
C. Cvasipermanente acoperiș	C	0	8.71	11.01	-17.5	6.52
D. Cvasipermanente cale de rulare	C	0	-0.69	-0.87	1.38	-0.51
E. Zăpadă	V	0	11.01	13.92	-22.13	8.23
F. Vericale mari poduri	V	0	-115.64	-146.21	461.26	142.25
G. Verticale mici poduri	V	0	-115.64	-146.21	3.69	-315.31
H. Orizontale poduri → stâlp ax-A	V	0	-70.63	-43.25	-43.25	242.38
I. Orizontale poduri → stâlp ax-B	V	0	70.63	89.30	89.30	284.13
J. Orizontale poduri ← stâlp ax-A	V	0	70.63	43.25	43.25	-242.38
K. Orizontale poduri ← stâlp ax-B	V	0	-70.63	-89.30	-89.30	-284.13
L. Vânt →	V	0	82.65	104.50	104.50	950.98
M. Vânt ←	V	0	-128.11	-161.98	-161.98	-979.30
N. Gravitaționale acoperiș	-	0	14.57	18.43	-29.30	10.91
O. Gravitaționale cale de rulare	-	0	-51.63	-65.29	103.87	-38.58
P. Seism →	E	0	233.12	294.75	294.75	1206.75
Q. Seism ←	E	0	-233.12	-294.75	-294.75	-1206.75

4.2.EVALUAREA SOLICITĂRILOR PENTRU CALCULUL SECȚIUNILOR CURENTE ALE TRONSOANELOR DE STÂLPI

Ambele tronsoane de stâlp se dimensionează cu solicitările obținute din combinațiile de încărcări din gruparea fundamentală.

$$\boxed{\sum n_i \cdot P_i + \sum n_i \cdot C_i + n_g \cdot \sum n_i \cdot V_i.}$$

în care:

P_i, C_i, V_i = valori normate ale încărcărilor permanente, cvasipermanente și variabile;

n_i = coeficienți parțiali de siguranță pentru diferitele încărcări;

n_g = coeficient de grupare a încărcărilor variabile;

$n_g = 1.0 \leftrightarrow$ o singură încărcare variabilă;

$n_g = 0.9 \leftrightarrow$ două încărcări variabile;

$n_g = 0.8 \leftrightarrow$ trei sau mai multe încărcări variabile;

Observație:

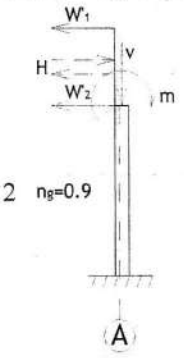
Combinațiile de încărcări (combinațiile de cazuri de încărcări) propuse în continuare sunt adecvate exemplului de calcul analizat. Pentru alte structuri și condiții de încărcare, se vor reanaliza combinațiile de încărcări pentru a le găsi pe cele mai defavorabile.

4.2.1. COMBINAȚII DE ÎNCĂRCĂRI PENTRU CALCULUL TRONSONULUI SUPERIOR DE STÂLP

Pentru tronsonul superior de stâlp prezintă interes combinațiile de încărcări ce conduc în secțiunea 3-3 la valori cât mai mari ale momentului încovoietor și forței axiale.

Se propun următorele combinații de încărcări:

Combinația I de încărcări: toate încărcările permanente (caz A + B) și cvasipermanente (caz C + D) ⊕ următorele încărcări variabile: vânt (caz M) + poduri rulante (caz G + K).



Se iau în calcul două încărcări variabile (vânt + poduri rulante), prin urmare $n_g = 0.9$.

Observație:

Se consideră (dintre cazurile H, I, J sau K) cazul de încărcări orizontale generate de acțiunea podurilor rulante, care conduce în secțiunea 3-3 la moment încovoietor cât mai mare, care să întindă fibrele stâlpului din interiorul halei (se alege cazul K de încărcare).

$$N_{1-1} = N_{3-3} = N_A + N_B + N_C + N_D + n_g \cdot N_G + n_g \cdot N_K + n_g \cdot N_M;$$

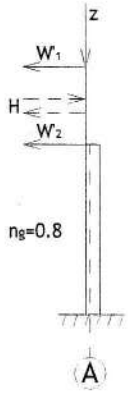
$$N_{1-1} = 123.42kN + 0kN + 190.08kN + 0kN + 0.9 \cdot 0kN + 0.9 \cdot 0kN + 0.9 \cdot 0kN = 313.5kN;$$

$$M_{1-1} = 0kN \cdot m;$$

$$M_{3-3} = M_A + M_B + M_C + M_D + n_g \cdot M_G + n_g \cdot M_K + n_g \cdot M_M;$$

$M_{3-3} = 7.15kN \cdot m - 15.49kN \cdot m - 11.01kN \cdot m - 0.87kN \cdot m - 0.9 \cdot 146.21kN \cdot m - 0.9 \cdot 89.30kN \cdot m -$
$- 0.9 \cdot 161.98kN \cdot m = -377.96kN \cdot m.$

Combinația II de încărcări: toate încărcările permanente (caz A + B) și cvasipermanente (caz C + D) ⊕ următorele încărcări variabile: vânt (caz M) + poduri rulante (caz G + K) + zăpadă (caz E).



Se iau în calcul trei încărcări variabile (vânt + poduri rulante + zăpadă), prin urmare $n_g = 0.8$.

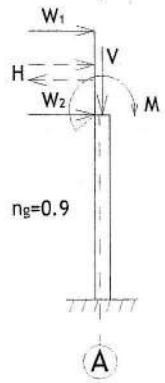
Observație:
Se consideră (dintre cazurile H, I, J sau K) cazul de încărcări orizontale generate de acțiunea podurilor rulante, care conduce în secțiunea 3-3 la moment încovoietor cât mai mare, care să întindă fibrele stâlpului din interiorul halei (se alege cazul K de încărcare).

$N_{1-1} = N_{3-3} = N_A + N_B + N_C + N_D + n_g \cdot N_E + n_g \cdot N_G + n_g \cdot N_K + n_g \cdot N_M;$
$N_{1-1} = 123.42kN + 0kN + 190.08kN + 0kN + 0.8 \cdot 240.29kN + 0.8 \cdot 0kN + 0.8 \cdot 0kN + 0.8 \cdot 0kN = 505.73kN;$
$M_{1-1} = 0kN \cdot m;$
$M_{3-3} = M_A + M_B + M_C + M_D + n_g \cdot M_E + n_g \cdot M_G + n_g \cdot M_K + n_g \cdot M_M;$
$M_{3-3} = 7.15kN \cdot m - 15.49kN \cdot m + 11.01kN \cdot m - 0.87kN \cdot m + 0.8 \cdot 13.92kN \cdot m - 0.8 \cdot 146.21kN \cdot m -$
$- 0.8 \cdot 89.30kN \cdot m - 0.8 \cdot 161.98kN \cdot m = -305.06kN \cdot m.$

4.2.2. COMBINAȚII DE ÎNCĂRCĂRI PENTRU CALCULUL TRONSONULUI INFERIOR DE STÂLP

Pentru tronsonul inferior de stâlp prezintă interes combinațiile de încărcări ce conduc în secțiunea 4-4 la valori cât mai mari ale momentului încovoietor și forței axiale.
Se propun următorele combinații de încărcări:

Combinația III de încărcări: toate încărcările permanente (caz A + B) și cvasipermanente (caz C + D) ⊕ următorele încărcări variabile: vânt (caz L) + poduri rulante (caz F + I).



Se iau în calcul două încărcări variabile (vânt + poduri rulante), prin urmare $n_g = 0.9$.

Observație:
Se consideră (dintre cazurile H, I, J sau K) cazul de încărcări orizontale generate de acțiunea podurilor rulante, care conduce în secțiunea 4-4 la moment încovoietor cât mai mare, care să întindă fibrele stâlpului din exteriorul halei (se alege cazul I de încărcare).

$N_{3'-3'} = N_{4-4} = N_A + N_B + N_C + N_D + n_g \cdot N_F + n_g \cdot N_I + n_g \cdot N_L;$

$N_{3'-3'} = 123.42kN + 47.19kN + 190.08kN + 2.64kN + 0.9 \cdot 714.67kN + 0.9 \cdot 0kN + 0.9 \cdot 0kN =$

$= 1006.53kN;$

$M_{3'-3'} = M_A + M_B + M_C + M_D + n_g \cdot M_F + n_g \cdot M_I + n_g \cdot M_L;$

$M_{3'-3'} = -11.38kN \cdot m + 24.62kN \cdot m - 17.50kN \cdot m + 1.38kN \cdot m + 0.9 \cdot 461.26kN \cdot m +$

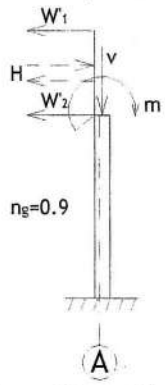
$+ 0.9 \cdot 89.30kN \cdot m + 0.9 \cdot 104.5kN \cdot m = 586.67kN \cdot m.$

$M_{4-4} = M_A + M_B + M_C + M_D + n_g \cdot M_F + n_g \cdot M_I + n_g \cdot M_L;$

$M_{4-4} = 4.22kN \cdot m - 9.17kN \cdot m + 6.52kN \cdot m - 0.51kN \cdot m + 0.9 \cdot 142.25kN \cdot m +$

$+ 0.9 \cdot 284.13kN \cdot m + +0.9 \cdot 950.98kN \cdot m = 1240.68kN \cdot m.$

Combinația IV de încărcări: toate încărcările permanente (caz A + B) şi cvasipermanente (caz C + D) ⊕ următorele încărcări variabile: vânt (caz M) + poduri rulante (caz G+K).



Se iau în calcul două încărcări variabile (vânt + poduri rulante), prin urmare $n_g = 0.9$.

Observație:

Se consideră (dintre cazurile H, I, J sau K) cazul de încărcări orizontale generate de acțiunea podurilor rulante, care conduce în secțiunea 4-4 la moment încovoietor cât mai mare, care să întindă fibrele stâlpului din interiorul halei (se alege cazul K de încărcare).

$N_{3'-3'} = N_{4-4} = N_A + N_B + N_C + N_D + n_g \cdot N_G + n_g \cdot N_K + n_g \cdot N_M;$

$N_{3'-3'} = 123.42kN + 47.19kN + 190.08kN + 2.64kN + 0.9 \cdot 176.36kN + 0.9 \cdot 0kN + 0.9 \cdot 0kN =$

$= 522.05kN;$

$M_{3'-3'} = M_A + M_B + M_C + M_D + n_g \cdot M_G + n_g \cdot M_K + n_g \cdot M_M;$

$M_{3'-3'} = -11.38kN \cdot m + 24.62kN \cdot m - 17.50kN \cdot m + 1.38kN \cdot m + 0.9 \cdot 3.69kN \cdot m -$

$- 0.9 \cdot 89.30kN \cdot m - 0.9 \cdot 161.98kN \cdot m = -225.71kN \cdot m.$

$M_{4-4} = M_A + M_B + M_C + M_D + n_g \cdot M_G + n_g \cdot M_K + n_g \cdot M_M;$

$M_{4-4} = 4.22kN \cdot m - 9.17kN \cdot m + 6.52kN \cdot m - 0.51kN \cdot m - 0.9 \cdot 315.31kN \cdot m -$

$- 0.9 \cdot 284.13kN \cdot m - 0.9 \cdot 979.30kN \cdot m = -1419.81kN \cdot m.$

4.2.3. COMBINAȚII DE ÎNCĂRCĂRI DIN GRUPAREA SPECIALĂ DE ÎNCĂRCĂRI

Mai pot prezenta interes pentru verificarea celor două tronsoane de stâlp şi următoarele combinații de încărcări din gruparea specială:

$$\boxed{\sum P_i + \sum C_i + \sum n_i^d \cdot V_i + E_1.}$$

în care:

E_1 = încărcare excepțională (seism);

n_i^d = coeficienți ce introduc în calcul fracțiunea de lungă durată a încărcărilor variabile.

• **Combinația V** pentru tronsonul inferior de stâlp:
Cazul de încărcare N + Cazul de încărcare O + Cazul de încărcare P.

$N_{3'-3'} = N_{4-4} = N_N + N_O + N_P = 318.12kN + 199.0kN + 0kN = 517.2kN;$

$M_{3'-3'} = M_N + M_O + M_P = -29.30kN \cdot m + 103.87kN \cdot m + 294.75kN \cdot m = 369.32kN \cdot m;$

$M_{4-4} = M_N + M_O + M_P = 10.91kN \cdot m - 38.58kN \cdot m + 1206.75kN \cdot m = 1179.08kN \cdot m.$

• **Combinația VI** pentru tronsonul superior de stâlp:
Cazul de încărcare N + Cazul de încărcare O + Cazul de încărcare Q.

$N_{1-1} = N_{3-3} = N_N + N_O + N_Q = 318.12kN + 0kN + 0kN = 318.12kN;$

$M_{1-1} = 0kN \cdot m;$

$M_{3-3} = M_N + M_O + M_Q = 18.43kN \cdot m - 65.29kN \cdot m - 294.75kN \cdot m = -341.62kN \cdot m.$

4.3. DIMENSIONAREA SECȚIUNILOR TRANSVERSALE PENTRU CELE DOUĂ TRONSOANE DE STÂLP

4.3.1. DIMENSIONAREA SECȚIUNII TRONSONULUI SUPERIOR

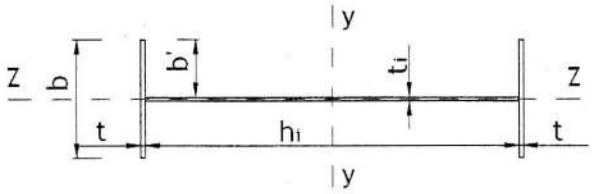


Fig. 4.18. Secțiune transversală tronson superior

În majoritatea cazurilor tronsonul superior de stâlp se dimensionează din condiția de zveltețe:

$$\lambda_z = \frac{l_{fz}}{i_z} \le \lambda_a = 120$$

în care:

l_{fz} = lungimea de flambaj a tronsonului superior de stâlp în raport cu axa z – z;

$l_{fz} \cong l_s = 5500mm;$

1^0 Pentru inimă se propun dimensiunile $t_i = 8mm; h_i = 800mm.$

2^0 Se propune o valoare pentru grosimea tălpii $t \in \{10;12\}$.
Propun $t = 10mm.$

3^0 Se propune o valoare a lățimii tălpii b, multiplu de $10mm$. Recomandabil $200 \le b \le 300$.
Propun $b = 240mm.$

4^0 Se calculează raza de girație a secțiunii în raport cu axa $z - z$:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{23.07 \cdot 10^6 mm^4}{11200mm^2}} \cong 45.39mm;$$

unde:

I_z = momentul de inerție al secțiunii tronsonului superior se stâlp în raport cu axa $z-z$;

$$I_z = 2\cdot\frac{240^3\cdot 10}{12}+\frac{800\cdot 8^3}{12}=23.07\cdot 10^6\, mm^4;$$

A = aria secțiunii tronsonului de stâlp;

$$A = 2\cdot 240\cdot 10+800\cdot 8=11200 mm^2.$$

5^0 Se calculează coeficientul de zvelteţe λ_z şi se compară cu valoarea admisă a zvelteții, adică cu $\lambda_a = 120$.

$$\lambda_z=\frac{l_{fz}}{i_z}=\frac{5500mm}{45.39mm}\cong 121.17>\lambda_a=120.$$

Dacă $\lambda_z>\lambda_a$ se revine la punctul 3^0 şi se propune o valoare mai mare pentru b.

3^0 Propun $b = 250mm$.

4^0 $i_z=\sqrt{\frac{I_z}{A}}=\sqrt{\frac{26.07\cdot 10^6\, mm^4}{11400 mm^2}}\cong 47.82mm;$

$$I_z = 2\cdot\frac{250^3\cdot 10}{12}+\frac{800\cdot 8^3}{12}=26.07\cdot 10^6\, mm^4;$$

$$A = 2\cdot 250\cdot 10+800\cdot 8=11400 mm^2.$$

5^0 $\lambda_z=\frac{l_{fz}}{i_z}=\frac{5500mm}{47.82mm}\cong 115.0<\lambda_a=120.$

6^0 Se verifica suplețea tălpii cu relația: $\boxed{\frac{b'}{t}\le 15}$.

$$b'=\frac{b-t_i}{2}=\frac{250-8}{2}=121mm;$$

$\frac{b'}{t}=\frac{121mm}{10mm}=12.1<15\Rightarrow$ Relația de verificare este satisfăcută.

Dacă $\frac{b'}{t}>15$ se revine la punctul 2^0 şi se propune o grosime mai mare pentru t.

4.3.2. DIMENSIONAREA SECȚIUNII TRONSONULUI INFERIOR

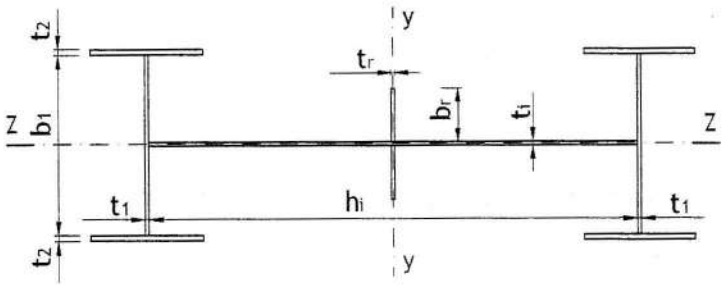


Fig. 4.19. Secțiune transversală tronson inferior

Dimensiuni recomandate:

- $t_i = 8, 9, 10;\quad t_1 \geq t;$
- $t_1, t_2 = 10, 12, 14, 15;\quad t_2 \geq t_1 \geq t;$
- $b_r \times t_r \geq 100 \times 8;\quad b_2 \times t_2 \geq 100 \times 10;$

Condiții obligatorii:

- $b_1 \geq b;\ b_1 \geq 2 \cdot b_r + t_i;\ b_r / t_r \leq 15.$

1^0 Se propun pentru inima tronsonului inferior de stâlp dimensiunile $t_i = 8mm; h_i = 1100mm.$

2^0 Se calculează coeficienții de pondere, folosind următoarele relații:

$$\boxed{b = \frac{N}{h_i \cdot t_i \cdot R}; d = \frac{6.5 \cdot M_y}{h_i \cdot N}.}$$,unde N, M_y sunt solicitările care dimensionează secțiunea.

Se propune dimensionarea cu solicitările din secțiunea 4 – 4 obținute în combinația III de încărcări: $N = 1006.53kN; M = 1240.68kN \cdot m.$

$$b = \frac{N}{h_i \cdot t_i \cdot R} = \frac{1006.53 \cdot 10^3 N}{1100mm \cdot 8mm \cdot 220N/mm^2} \cong 0.52;$$

$$d = \frac{6.5 \cdot M_y}{h_i \cdot N} = \frac{6.5 \cdot 1240.68 \cdot 10^6 N \cdot mm}{1100mm \cdot 1006.53 \cdot 10^3 N} \cong 7.28;$$

$$r = 4 - 3 \cdot b - b \cdot d = 4 - 3 \cdot 0.52 - 0.52 \cdot 7.28 \cong -1.35;$$

$$s = 1 - b - b \cdot d = 1 - 0.52 - 0.52 \cdot 7.28 \cong -3.31.$$

Observație:

r și s pot avea valori pozitive sau negative.

3^0 Se calculează coeficientul de distribuție a materialului în secțiune:

$$\beta = \frac{-r + \sqrt{r^2 - 12 \cdot s}}{6} = \frac{1.35 + \sqrt{(-1.35)^2 - 12 \cdot (-3.31)}}{6} \cong 1.30.$$

4^0 Se propune $t_1 = 10mm.$

5^0 Se propune o valoare pentru coeficientul distribuție a materialului în ramură β_1 :

$0.4 \leq \beta_1 \leq 0.8;$

Observații:

Dacă $\beta_1 \to 0.4$ rezultă b_1 mare și b_2 mic;

Dacă $\beta_1 \to 0.8$ rezultă b_1 mic b_2 mare.

Se propune $\beta_1 = 0.52.$

6^0 Se stabilește:

$$b_1^{nec} = \frac{\beta}{1 + \beta_1} \cdot \frac{t_i \cdot h_i}{2 \cdot t_1} = \frac{1.30}{1 + 0.52} \cdot \frac{8mm \cdot 1100mm}{2 \cdot 10mm} = 376.31mm \Rightarrow b_1 = 380mm;$$

$$b_1 = 380mm > b = 250mm.$$

Observație:

b_1 se rotunjește superior la multiplu de $10mm.$

7^0 Se propune $t_2 \geq t_1$. Se alege $t_2 = 10mm$.

8^0 Se stabileşte:

$$b_2^{nec} = \frac{\beta \cdot t_i \cdot h_i - 2 \cdot t_1 \cdot b_1}{4 \cdot t_2} = \frac{1.30 \cdot 8mm \cdot 1100mm - 2 \cdot 10mm \cdot 380mm}{4 \cdot 10mm} = 96.0mm \Rightarrow b_2 = 100mm.$$

Observaţie:

b_2 se rotunjeşte superior la multiplu de 10 mm.

9^0 Pentru rigidizările longitudinale se propun dimensiunile $t_r = 10mm$ şi $b_r = 120mm$.

$$\frac{b_r}{t_r} = \frac{120mm}{10mm} = 12 < 15; \qquad 2 \cdot b_r + t_i = 2 \cdot 120mm + 8mm = 248mm < b_1 = 380mm.$$

4.4. VERIFICAREA SECŢIUNILOR TRANSVERSALE PROPUSE PENTRU CELE DOUĂ TRONSOANE DE STÂLP

4.4.1. RELAŢII DE VERIFICARE:

Verificarea de rezistenţă se face folosind relaţia: $\boxed{\frac{N}{A} + \frac{M_y}{W_y} \leq R.}$

unde:

A = aria secţiunii transversale a tronsonului de stâlp verificat;

W_y = modul de rezistenţă al secţiunii transversale a tronsonului de stâlp verificat:

$$W_y = \frac{I_y}{z_{max}}.$$

N şi M_y se înregistrează în aceeaşi secţiune transversală şi aceeaşi combinaţie de încărcări.

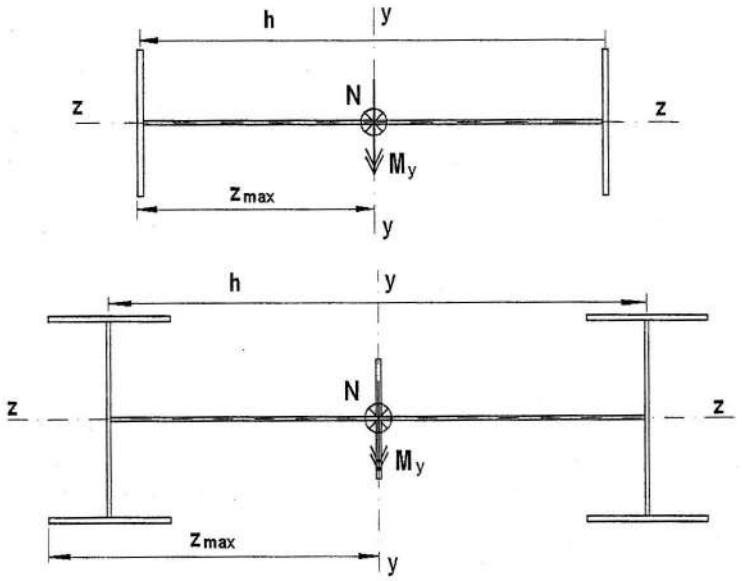


Fig. 4.20. Secţiuni transversale curente tronsoane stâlpi

Verificarea de stabilitate generală se face cu una din relațiile:

Dacă $\frac{N}{\varphi \cdot A} > 0.15 \cdot R$ $\quad \boxed{\frac{N}{\varphi \cdot A} + \frac{c_y \cdot M_y}{\varphi_{go} \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{\sigma_{Ey}}\right) \cdot W_y} \le R}$;

Dacă $\frac{N}{\varphi \cdot A} \le 0.15 \cdot R$ $\quad \boxed{\frac{N}{\varphi \cdot A} + \frac{M_y}{\varphi_g \cdot W_y} \le R}$.

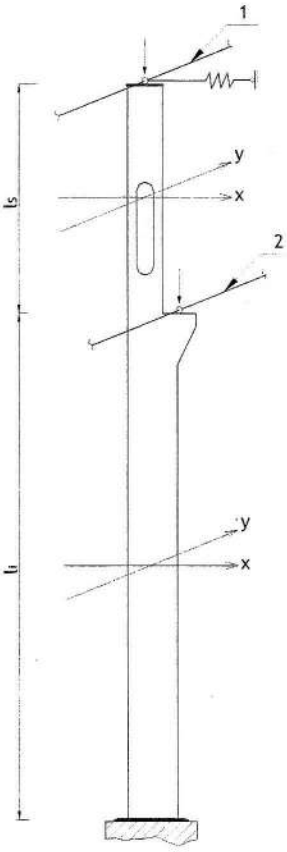
$\varphi = \min(\varphi_y, \varphi_z)$; $\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y} \xrightarrow{A} \varphi_y$; $\lambda_z = \frac{l_{fz}}{i_z} \xrightarrow{B} \varphi_z$; $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$; $i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$.

Observație:

Lungimile de flambaj l_{fy} ale tronsoanelor de stâlp în planul cadrului transversal se determină conform punctului 6.4.4 din STAS 10108/0-78. În mod acoperitor se poate considera: $l_{fy} \cong 3 \cdot l$. În plan perpendicular pe planul cadrului transversal lungimea de flambaj este: $l_{fz} \cong l$.

unde:

l = lungimea tronsonului de stâlp verificat.



În planul cadrului transversal capătul superior de stâlp are rotirea și translația neîmpiedicate:

1 – ginda longitudinală de legătură între capetele superioare de stâlp;

2 – grinzile căii de rulare.

$\lambda_g = \gamma \cdot \frac{1}{\sqrt{\xi}} \cdot \lambda_z \xrightarrow{B} \varphi_g$; $\lambda_{go} = \gamma \cdot \lambda_z \xrightarrow{B} \varphi_{go}$.

φ_g și φ_{go} sunt coeficienți de flambaj care exprimă efectul pierederii stabilității barei datorate momentului încovoietor.

$\lambda_{go} = \lambda_g$ când $\xi = 1$;

γ = coeficient ce ține seama de sensibilitatea la răsucire a tronsonului verificat;

$$\gamma = \sqrt{\frac{0.32}{\sqrt{0.25 + \left(\frac{l}{h}\right)^2 \cdot \frac{I_r}{I_z} \cdot 0.039}}};$$

h = distanța între centrele de greutate ale tălpilor (ramurilor) secțiunii;

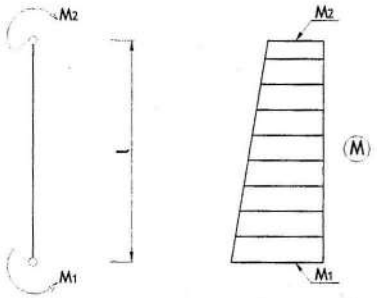
I_r = momentul de inerție al secțiunii transversale la răsucire simplă; $I_r = \frac{1}{3} \cdot \sum b_i \cdot t_i^3 [mm^4]$;

c_y, ξ = coeficienți prin care se ține seama de forma diagramei de moment pe lungimea tronsonului de stâlp verificat;

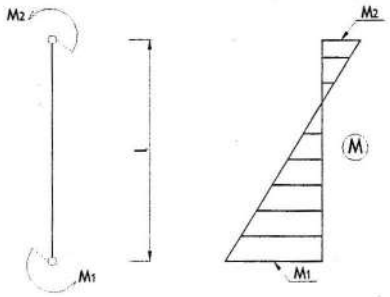
$$c_y = \sqrt{0.3 \cdot \left[\left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2 + 1\right] + 0.4 \cdot \frac{M_2}{M_1}}; \quad \xi = 1.75 - 1.05 \cdot \frac{M_2}{M_1} + 0.3 \cdot \left(\frac{M_2}{M_1}\right)^2 \leq 2.30.$$

$\frac{M_2}{M_1}$ se introduce în calcul cu semn algebric: $|M_2| \leq |M_1|$.

Pentru încovoiere cu simplă curbură $\frac{M_2}{M_1} \geq 0$:



Pentru încovoiere cu dublă curbură $\frac{M_2}{M_1} < 0$:



$1 - \frac{\sigma}{\sigma_{Ey}}$ = coeficientul lui Perry, ce aproximează efectele de ordinul doi;

$$M_y^{II} \cong \frac{M_y^I}{1 - \frac{\sigma}{\sigma_{Ey}}}; \quad \sigma = \frac{N}{A}; \quad \sigma_{Ey} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_y^2}.$$

σ_{Ey} = tensiune critică Euler;

$E = 2.1 \cdot 10^5 \, N/mm^2$; E = modulul de elasticitate al oțelului.

4.4.2. VERIFICĂRI DE REZISTENȚĂ ȘI STABILITATE GENERALĂ PENTRU TRONSONUL SUPERIOR DE STÂLP

În urma dimensionării s-a propus următoarea secțiune transversală pentru tronsonul superior de stâlp:

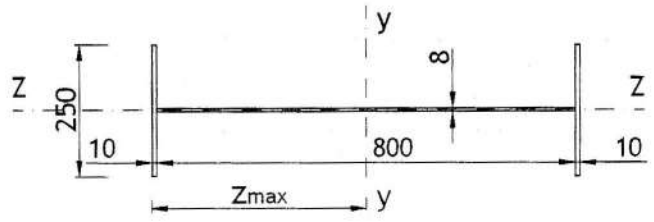


Fig. 4.21. Secțiunea transversală obținută în urma dimensionării pentru tronsonul superior de stâlp

Caracteristicile geometrice ale acestei secțiuni sunt:

$$A = 2 \cdot 250 \cdot 10 + 800 \cdot 8 = 11400 mm^2 = 11.4 \cdot 10^3 mm^2;$$

$$I_y = 2 \cdot \frac{250 \cdot 10^3}{12} + 2 \cdot 250 \cdot 10 \cdot (405)^2 + \frac{800^3 \cdot 8}{12} = 1161.50 \cdot 10^6 mm^4;$$

$$I_z = 2 \cdot \frac{250^3 \cdot 10}{12} + \frac{800 \cdot 8^3}{12} 26.07 \cdot 10^6 mm^4;$$

$$I_r = \frac{1}{3} \cdot \left(800 \cdot 8^3 + 2 \cdot 250 \cdot 10^3\right) = 0.303 \cdot 10^6 mm^4;$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1161.50 \cdot 10^6 mm^4}{11400 mm^2}} = 319.19 mm; i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{26.07 \cdot 10^6 mm^4}{11400 mm^2}} = 47.82 mm;$$

$$W_y = \frac{I_y}{z_{\max}} = \frac{1161.50 \cdot 10^6 mm^4}{410 mm} = 2.83 \cdot 10^6 mm^3;$$

$$l = l_s = 5500 mm; h = 800 + 2 \cdot \frac{10}{2} = 810 mm.$$

Verificarea secțiunii cu solicitările din **combinația I** de încărcări: $\begin{cases} N_{1-1} = N_{3-3} = 313.5 kN; \\ M_{1-1} = 0 kN \cdot m; \\ M_{3-3} = 377.96 kN \cdot m. \end{cases}$

► Verificare de rezistență:

$$\frac{N}{A} + \frac{M_y}{W_y} = \frac{313.5 \cdot 10^3 N}{11.4 \cdot 10^3 mm^2} + \frac{377.96 \cdot 10^6 N \cdot mm}{2.83 \cdot 10^6 mm^3} = 161.06 N/mm^2 < R = 220 N/mm^2.$$

► Verificare de zveltețe:

$$\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y} \cong \frac{3 \cdot l}{i_y} = \frac{3 \cdot 5500 mm}{319.19 mm} = 51.69 \cong 52;$$

$$\lambda_y = 52 \xrightarrow{A\_OL37} \varphi_y = 0.914;$$

$$\lambda_z = \frac{l_{fz}}{i_z} \cong \frac{l}{i_z} = \frac{5500 mm}{47.82 mm} = 115.02 \cong 116;$$

$$\lambda_z = 116 \xrightarrow{B\_OL37} \varphi_z = 0.454;$$

$\lambda_y; \lambda_z < \lambda_a = 120. \Rightarrow$ Relația de verificare la zveltețe este satisfăcută.

► Verificare de stabilitate generală:

$$\varphi = \min\left(\varphi_y; \varphi_z\right) = 0.454;$$

$$\frac{N}{\varphi \cdot A} = \frac{313.5 \cdot 10^3 N}{0.454 \cdot 11.4 \cdot 10^3 mm^2} = 60.57 N/mm^2 > 0.15 \cdot R = 33 N/mm^2.$$

Prin urmare verificarea de stabilitate generală se face cu relația:

$$\boxed{\frac{N}{\varphi \cdot A} + \frac{c_y \cdot M_y}{\varphi_{go} \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{\sigma_{Ey}}\right) \cdot W_y} \leq R.}$$

$$c_y = \sqrt{0.3 \cdot \left[\left(\frac{M_2}{M_1}\right)^2 + 1\right] + 0.4 \cdot \frac{M_2}{M_1}} = \sqrt{0.3 \cdot [(0)^2 + 1] + 0.4 \cdot 0} = 0.547;$$

$$\left.\begin{array}{l} M_2 = 0kN \cdot m \\ M_1 = M_{3-3} = 377.96kN \cdot m \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{M_2}{M_1} = 0;$$

$$\gamma = \frac{0.32}{\sqrt{0.25 + \left(\frac{l}{h}\right)^2 \cdot \frac{I_r}{I_z} \cdot 0.039}} = \frac{0.32}{\sqrt{0.25 + \left(\frac{5500}{810}\right)^2 \cdot \frac{0.303 \cdot 10^6}{26.07 \cdot 10^6} \cdot 0.039}} = 0.784;$$

$$\lambda_{go} = \gamma \cdot \lambda_z = 0.784 \cdot 115.02 = 90.18 \cong 91;$$

$$\lambda_{go} = 91 \xrightarrow{B\_01.37} \varphi_{go} = 0.614;$$

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{313.5 \cdot 10^3 N}{11.4 \cdot 10^3 mm^2} = 27.50N/mm^2;$$

$$\sigma_{Ey} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_y^{\,2}} = \frac{\pi^2 \cdot 2.1 \cdot 10^5 N/mm^2}{(51.69)^2} = 775.72N/mm^2;$$

$$1 - \frac{\sigma}{\sigma_{Ey}} = 1 - \frac{27.50N/mm^2}{775.72N/mm^2} = 0.964;$$

Rezultă că:

$$\frac{N}{\varphi \cdot A} + \frac{c_y \cdot M_y}{\varphi_{go} \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{\sigma_{Ey}}\right) \cdot W_y} = \frac{313.5 \cdot 10^3 N}{0.454 \cdot 11.4 \cdot 10^3 mm^2} + \frac{0.547 \cdot 377.96 \cdot 10^6 N \cdot mm}{0.614 \cdot 0.964 \cdot 2.83 \cdot 10^6 mm^3};$$

$$\frac{N}{\varphi \cdot A} + \frac{c_y \cdot M_y}{\varphi_{go} \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{\sigma_{Ey}}\right) \cdot W_y} = 60.57 + 123.42 = 183.99N/mm^2 < R = 220N/mm^2.$$

$\Rightarrow$ Relația de verificare este satisfăcută.

Verificarea secțiunii cu solicitările din **combinația II** de încărcări: $\begin{cases} N_{1-1} = N_{3-3} = 505.73kN; \\ M_{1-1} = 0kN \cdot m; \\ M_{3-3} = 305.06kN \cdot m. \end{cases}$

► Verificare de rezistență:

$$\frac{N}{A} + \frac{M_y}{W_y} = \frac{505.73 \cdot 10^3 N}{11.4 \cdot 10^3 mm^2} + \frac{305.06 \cdot 10^6 N \cdot mm}{2.83 \cdot 10^6 mm^3} = 159.94N/mm^2 < R = 220N/mm^2.$$

► Verificare de stabilitate generală:

$$\varphi = \min(\varphi_y; \varphi_z) = 0.454;$$

$$\frac{N}{\varphi \cdot A} = \frac{505.73 \cdot 10^3 N}{0.454 \cdot 11.4 \cdot 10^3 mm^2} = 97.71 N/mm^2 > 0.15 \cdot R = 33 N/mm^2.$$

Prin urmare verificarea de stabilitate generală se face cu relația:

$$\boxed{\frac{N}{\varphi \cdot A} + \frac{c_y \cdot M_y}{\varphi_{go} \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{\sigma_{Ey}}\right) \cdot W_y} \leq R.}$$

$$c_y = \sqrt{0.3 \cdot \left[\left(\frac{M_2}{M_1}\right)^2 + 1\right] + 0.4 \cdot \frac{M_2}{M_1}} = \sqrt{0.3 \cdot [(0)^2 + 1] + 0.4 \cdot 0} = 0.547;$$

$$\left.\begin{aligned} M_2 &= 0 kN \cdot m \\ M_1 &= M_{3-3} = 305.06 kN \cdot m \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{M_2}{M_1} = 0;$$

$$\gamma = \frac{0.32}{\sqrt{0.25 + \left(\frac{l}{h}\right)^2 \cdot \frac{I_r}{I_z} \cdot 0.039}} = \frac{0.32}{\sqrt{0.25 + \left(\frac{5500}{810}\right)^2 \cdot \frac{0.303 \cdot 10^6}{26.07 \cdot 10^6} \cdot 0.039}} = 0.784;$$

$$\lambda_{go} = \gamma \cdot \lambda_z = 0.784 \cdot 115.02 = 90.18 \cong 91;$$

$$\lambda_{go} = 91 \xrightarrow{B\_OL37} \varphi_{go} = 0.614;$$

$$1 - \frac{\sigma}{\sigma_{Ey}} = 1 - \frac{44.37 N/mm^2}{775.72 N/mm^2} = 0.942;$$

Rezultă că:

$$\frac{N}{\varphi \cdot A} + \frac{c_y \cdot M_y}{\varphi_{go} \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{\sigma_{Ey}}\right) \cdot W_y} = \frac{505.73 \cdot 10^3 N}{0.454 \cdot 11.4 \cdot 10^3 mm^2} + \frac{0.547 \cdot 305.06 \cdot 10^6 N \cdot mm}{0.614 \cdot 0.942 \cdot 2.83 \cdot 10^6 mm^3};$$

$$\frac{N}{\varphi \cdot A} + \frac{c_y \cdot M_y}{\varphi_{go} \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{\sigma_{Ey}}\right) \cdot W_y} = 97.71 + 101.95 = 199.66 N/mm^2 < R = 220 N/mm^2.$$

$\Rightarrow$ Relația de verificare este satisfăcută.

Observație:

Datorită faptului că solicitările din **combinația VI** de încărcări sunt mai reduse decât solicitările obținute în **combinația I** de încărcări, nu prezintă interes efectuarea verificărilor cu solicitările din **combinația VI**.

4.4.3. VERIFICĂRI DE REZISTENȚĂ ȘI STABILITATE GENERALĂ PENTRU TRONSONUL INFERIOR DE STÂLP

În urma dimensionării s-a propus următoarea secțiune transversală pentru tronsonul inferior de stâlp:

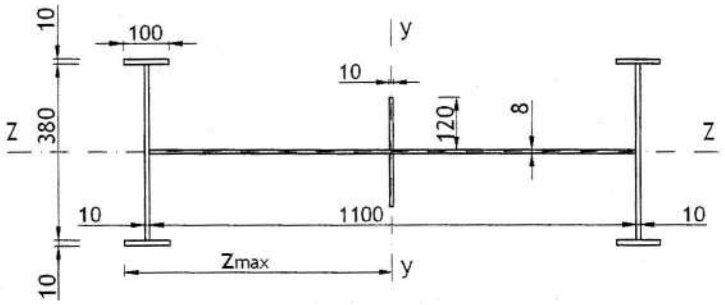


Fig. 4.22. Secțiunea transversală obținută în urma dimensionării pentru tronsonul inferior de stâlp

Caracteristicile geometrice ale acestei secțiuni sunt:

$$A = 4\cdot 100\cdot 10 + 2\cdot 380\cdot 10 + 2\cdot 120\cdot 10 + 1100\cdot 8 = 22800mm^2 = 22.8\cdot 10^3 mm^2;$$

$$I_y = \frac{8\cdot 1100^3}{12} + 2\cdot\frac{120\cdot 10^3}{12} + 2\cdot\frac{380\cdot 10^3}{12} + 2\cdot 380\cdot 10\cdot(555)^2 + 4\cdot\frac{100^3\cdot 10}{12} + 4\cdot 100\cdot 10\cdot(555)^2;$$

$$I_y = 4463.84\cdot 10^6 mm^4;$$

$$I_z = \frac{8^3\cdot 1100}{12} + 2\cdot\frac{120^3\cdot 10}{12} + 2\cdot 120\cdot 10\cdot(64)^2 + 2\cdot\frac{380^3\cdot 10}{12} + 4\cdot\frac{10^3\cdot 100}{12} + 4\cdot 10\cdot 100\cdot(195)^2;$$

$$I_z = 256.34\cdot 10^6 mm^4;$$

$$I_r = \frac{1}{3}\cdot\left(1100\cdot 8^3 + 2\cdot 120\cdot 10^3 + 2\cdot 380\cdot 10^3 + 4\cdot 100\cdot 10^3\right) = 0.654\cdot 10^6 mm^4;$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{4463.84\cdot 10^6 mm^4}{22.8\cdot 10^3 mm^2}} = 442.47mm; i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{256.34\cdot 10^6 mm^4}{22.8\cdot 10^3 mm^2}} = 106.03mm;$$

$$W_y = \frac{I_y}{z_{max}} = \frac{4463.84\cdot 10^6 mm^4}{605mm} = 7.738\cdot 10^6 mm^3;$$

$$l = l_i = 12000mm; h = 1100 + 2\cdot\frac{10}{2} = 1110mm.$$

Verificarea secțiunii cu solicitările din **combinația III** de încărcări: $\begin{cases} N_{3'-3'} = N_{4-4} = 100653kN; \\ M_{3'-3'} = 58867kN\cdot m; \\ M_{4-4} = 124068kN\cdot m. \end{cases}$

► Verificare de rezistență:

$$\frac{N}{A} + \frac{M_y}{W_y} = \frac{1006.53\cdot 10^3 N}{22.8\cdot 10^3 mm^2} + \frac{1240.68\cdot 10^6 N\cdot mm}{7.378\cdot 10^6 mm^3} = 212.31N/mm^2 < R = 220N/mm^2.$$

► Verificare de zveltețe:

$$\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y} \cong \frac{3\cdot l}{i_y} = \frac{3\cdot 12000mm}{442.47mm} = 81.36 \cong 82;$$

$$\lambda_y = 82 \xrightarrow{A\_OL37} \varphi_y = 0.748;$$

$$\lambda_z = \frac{l_{fz}}{i_z} \cong \frac{l}{i_z} = \frac{12000mm}{106.03mm} = 113.18 \cong 114;$$

$$\lambda_z = 114 \xrightarrow{B\_OL37} \varphi_z = 0.465;$$

$\lambda_y; \lambda_z < \lambda_a = 120. \Rightarrow$ Relația de verificare la zvelteță este satisfăcută.

► Verificare de stabilitate generală:

$$\varphi = \min(\varphi_y; \varphi_z) = 0.465;$$

$$\frac{N}{\varphi \cdot A} = \frac{1006.53 \cdot 10^3 N}{0.465 \cdot 22.8 \cdot 10^3 mm^2} = 94.94 N/mm^2 > 0.15 \cdot R = 33 N/mm^2.$$

Prin urmare verificarea de stabilitate generală se face cu relația:

$$\boxed{\frac{N}{\varphi \cdot A} + \frac{c_y \cdot M_y}{\varphi_{go} \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{\sigma_{Ey}}\right) \cdot W_y} \leq R.}$$

$$c_y = \sqrt{0.3 \cdot \left[\left(\frac{M_2}{M_1}\right)^2 + 1\right] + 0.4 \cdot \frac{M_2}{M_1}} = \sqrt{0.3 \cdot [(0.473)^2 + 1] + 0.4 \cdot 0.473} = 0.746;$$

$$\left.\begin{aligned} M_2 &= M_{3'-3'} = 586.67 kN \cdot m \\ M_1 &= M_{4-4} = 1240.68 kN \cdot m \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{M_2}{M_1} = \frac{586.67 kN \cdot m}{1240.68 kN \cdot m} \cong 0.473;$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{0.32}{\sqrt{0.25 + \left(\frac{l}{h}\right)^2 \cdot \frac{I_r}{I_z} \cdot 0.039}}} = \sqrt{\frac{0.32}{\sqrt{0.25 + \left(\frac{12000}{1110}\right)^2 \cdot \frac{0.654 \cdot 10^6}{256.34 \cdot 10^6} \cdot 0.039}}} = 0.791;$$

$$\lambda_{go} = \gamma \cdot \lambda_z = 0.791 \cdot 113.18 = 89.53 \cong 90;$$

$$\lambda_{go} = 90 \xrightarrow{B\_OL37} \varphi_{go} = 0.622;$$

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{1006.53 \cdot 10^3 N}{22.8 \cdot 10^3 mm^2} = 44.15 N/mm^2;$$

$$\sigma_{Ey} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_y^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2.1 \cdot 10^5 N/mm^2}{(81.36)^2} = 313.11 N/mm^2;$$

$$1 - \frac{\sigma}{\sigma_{Ey}} = 1 - \frac{44.15 N/mm^2}{313.11 N/mm^2} = 0.859;$$

Rezultă că:

$$\frac{N}{\varphi \cdot A} + \frac{c_y \cdot M_y}{\varphi_{go} \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{\sigma_{Ey}}\right) \cdot W_y} = \frac{1006.53 \cdot 10^3 N}{0.465 \cdot 22.8 \cdot 10^3 mm^2} + \frac{0.742 \cdot 1240.68 \cdot 10^6 N \cdot mm}{0.622 \cdot 0.859 \cdot 7.378 \cdot 10^6 mm^3};$$

$$\frac{N}{\varphi \cdot A} + \frac{c_y \cdot M_y}{\varphi_{go} \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{\sigma_{Ey}}\right) \cdot W_y} = 94.94 + 233.53 = 328.47 N/mm^2 > R = 220 N/mm^2.$$

$\Rightarrow$ Relația de verificare nu este satisfăcută.

Prin urmare trebuie mărite dimensiunile secțiunii transversale pentru tronsonul inferior de stâlp. Se propune secțiunea:

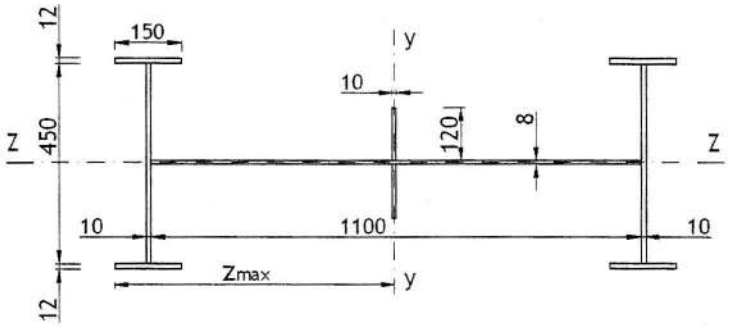


Fig. 4.23. Secțiunea transversală propusă pentru tronsonul inferior de stâlp după redimensionare

Caracteristicile geometrice ale acestei secțiuni sunt:

$$A = 4 \cdot 150 \cdot 12 + 2 \cdot 450 \cdot 10 + 2 \cdot 120 \cdot 10 + 1100 \cdot 8 = 27400 mm^2 = 27.4 \cdot 10^3 mm^2;$$

$$I_y = \frac{8 \cdot 1100^3}{12} + 2 \cdot \frac{120 \cdot 10^3}{12} + 2 \cdot \frac{450 \cdot 10^3}{12} + 2 \cdot 450 \cdot 10 \cdot (555)^2 + 4 \cdot \frac{150^3 \cdot 12}{12} + 4 \cdot 150 \cdot 12 \cdot (555)^2;$$

$$I_y = 5890.93 \cdot 10^6 mm^4;$$

$$I_z = \frac{8^3 \cdot 1100}{12} + 2 \cdot \frac{120^3 \cdot 10}{12} + 2 \cdot 120 \cdot 10 \cdot (64)^2 + 2 \cdot \frac{450^3 \cdot 10}{12} + 4 \cdot \frac{12^3 \cdot 150}{12} + 4 \cdot 12 \cdot 150 \cdot (231)^2;$$

$$I_z = 548.91 \cdot 10^6 mm^4;$$

$$I_r = \frac{1}{3} \cdot \left(1100 \cdot 8^3 + 2 \cdot 120 \cdot 10^3 + 2 \cdot 450 \cdot 10^3 + 4 \cdot 150 \cdot 12^3\right) = 0.913 \cdot 10^6 mm^4;$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{5890.93 \cdot 10^6 mm^4}{27.4 \cdot 10^3 mm^2}} = 463.67 mm; i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{548.91 \cdot 10^6 mm^4}{27.4 \cdot 10^3 mm^2}} = 141.54 mm;$$

$$W_y = \frac{I_y}{z_{\max}} = \frac{5890.93 \cdot 10^6 mm^4}{630 mm} = 9.35 \cdot 10^6 mm^3;$$

$$l = l_i = 12000 mm; h = 1100 + 2 \cdot \frac{10}{2} = 1110 mm.$$

Verificarea secțiunii cu solicitările din **combinația III** de încărcări: $\begin{cases} N_{3'-3'} = N_{4-4} = 100653 kN; \\ M_{3'-3'} = 58867 kN \cdot m; \\ M_{4-4} = 124068 kN \cdot m. \end{cases}$

► Verificare de rezistență:

$$\frac{N}{A} + \frac{M_y}{W_y} = \frac{1006.53 \cdot 10^3 N}{27.4 \cdot 10^3 mm^2} + \frac{1240.68 \cdot 10^6 N \cdot mm}{9.35 \cdot 10^6 mm^3} = 169.43 N/mm^2 < R = 220 N/mm^2.$$

► Verificare de zvelteţe:

$$\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y} \cong \frac{3 \cdot l}{i_y} = \frac{3 \cdot 12000mm}{463.67mm} = 77.64 \cong 78;$$

$$\lambda_y = 78 \xrightarrow{A\_OL37} \varphi_y = 0.775;$$

$$\lambda_z = \frac{l_{fz}}{i_z} \cong \frac{l}{i_z} = \frac{12000mm}{141.54mm} = 84.78 \cong 85;$$

$$\lambda_z = 85 \xrightarrow{B\_OL37} \varphi_z = 0.657;$$

$\lambda_y ; \lambda_z < \lambda_o = 120. \Rightarrow$ Relaţia de verificare la zvelteţe este satisfăcută.

► Verificare de stabilitate generală:

$$\varphi = \min(\varphi_y ; \varphi_z) = 0.657;$$

$$\frac{N}{\varphi \cdot A} = \frac{1006.53 \cdot 10^3 N}{0.657 \cdot 27.4 \cdot 10^3 mm^2} = 55.91 N/mm^2 > 0.15 \cdot R = 33 N/mm^2.$$

Prin urmare verificarea de stabilitate generală se face folosind relaţia:

$$\boxed{\frac{N}{\varphi \cdot A} + \frac{c_y \cdot M_y}{\varphi_{go} \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{\sigma_{Ey}}\right) \cdot W_y} \leq R.}$$

$$c_y = \sqrt{0.3 \cdot \left[\left(\frac{M_2}{M_1}\right)^2 + 1\right] + 0.4 \cdot \frac{M_2}{M_1}} = \sqrt{0.3 \cdot [(0.473)^2 + 1] + 0.4 \cdot 0.473} = 0.746;$$

$$\left.\begin{array}{l} M_2 = M_{3'-3'} = 586.67kN \cdot m \\ M_1 = M_{4-4} = 1240.68kN \cdot m \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{M_2}{M_1} = \frac{586.67kN \cdot m}{1240.68kN \cdot m} \cong 0.473;$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{0.32}{\sqrt{0.25 + \left(\frac{l}{h}\right)^2 \cdot \frac{I_r}{I_z} \cdot 0.039}}} = \sqrt{\frac{0.32}{\sqrt{0.25 + \left(\frac{12000}{1110}\right)^2 \cdot \frac{0.914 \cdot 10^6}{548.91 \cdot 10^6} \cdot 0.039}}} = 0.794;$$

$$\lambda_{go} = \gamma \cdot \lambda_z = 0.794 \cdot 84.78 = 67.32 \cong 68;$$

$$\lambda_{go} = 68 \xrightarrow{B\_OL37} \varphi_{go} = 0.778;$$

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{1006.53 \cdot 10^3 N}{27.4 \cdot 10^3 mm^2} = 36.73 N/mm^2;$$

$$\sigma_{Ey} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_y^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2.1 \cdot 10^5 N/mm^2}{(77.64)^2} = 343.83 N/mm^2;$$

$$1 - \frac{\sigma}{\sigma_{Ey}} = 1 - \frac{36.73 N/mm^2}{343.83 N/mm^2} = 0.893;$$

Rezultă că:

$$\frac{N}{\varphi\cdot A}+\frac{c_y\cdot M_y}{\varphi_{go}\cdot\left(1-\frac{\sigma}{\sigma_{Ey}}\right)\cdot W_y}=\frac{1006.53\cdot 10^3 N}{0.657\cdot 27.4\cdot 10^3 mm^2}+\frac{0.742\cdot 1240.68\cdot 10^6 N\cdot mm}{0.778\cdot 0.893\cdot 9.35\cdot 10^6 mm^3};$$

$$\frac{N}{\varphi\cdot A}+\frac{c_y\cdot M_y}{\varphi_{go}\cdot\left(1-\frac{\sigma}{\sigma_{Ey}}\right)\cdot W_y}=55.91+141.72=197.63N/mm^2<R=220N/mm^2.$$

$\Rightarrow$ Relaţia de verificare este satisfăcută.

Verificarea secţiunii cu solicitările din **combinaţia IV** de încărcări: $\begin{cases} N_{3'-3'}=N_{4-4}=522.05kN; \\ M_{3'-3'}=-225.71kN\cdot m; \\ M_{4-4}=-1419.81kN\cdot m. \end{cases}$

► Verificare de rezistenţă:

$$\frac{N}{A}+\frac{M_y}{W_y}=\frac{522.05\cdot 10^3 N}{27.4\cdot 10^3 mm^2}+\frac{1419.81\cdot 10^6 N\cdot mm}{9.35\cdot 10^6 mm^3}=170.90N/mm^2<R=220N/mm^2.$$

► Verificare de stabilitate generală:

$$\varphi=\min(\varphi_y;\varphi_z)=0.657;$$

$$\frac{N}{\varphi\cdot A}=\frac{522.05\cdot 10^3 N}{0.657\cdot 27.4\cdot 10^3 mm^2}=29.00N/mm^2<0.15\cdot R=33N/mm^2.$$

Prin urmare verificarea de stabilitate generală se face folosind relaţia:

$$\boxed{\frac{N}{\varphi\cdot A}+\frac{M_y}{\varphi_g\cdot W_y}\le R.}$$

$$\gamma=\frac{0.32}{\sqrt{0.25+\left(\frac{l}{h}\right)^2\cdot\frac{I_r}{I_z}\cdot 0.039}}=\frac{0.32}{\sqrt{0.25+\left(\frac{12000}{1110}\right)^2\cdot\frac{0.914\cdot 10^6}{548.91\cdot 10^6}\cdot 0.039}}=0.794;$$

$$\left.\begin{matrix} M_2=M_{3'-3'}=-225.71kN\cdot m \\ M_1=M_{3-3}=-1419.81kN\cdot m \end{matrix}\right\}\Rightarrow\frac{M_2}{M_1}=\frac{-225.71kN\cdot m}{-1419.81kN\cdot m}\cong+0.159;$$

$$\xi=1.75-1.05\cdot\frac{M_2}{M_1}+0.3\cdot\left(\frac{M_2}{M_1}\right)^2=1.75-1.05\cdot(0.159)+0.3\cdot(0.159)^2\cong 1.591;$$

$$\lambda_g=\gamma\cdot\frac{1}{\sqrt{\xi}}\cdot\lambda_z=0.794\cdot\frac{1}{\sqrt{1.591}}\cdot 84.78=53.37\cong 54;$$

$$\lambda_g=54\xrightarrow{B\_OL37}\varphi_g=0.863;$$

Rezultă că:

$$\frac{N}{\varphi \cdot A}+\frac{M_y}{\varphi_g \cdot W_y}=\frac{522.05\cdot 10^3 N}{0.657\cdot 27.4\cdot 10^3 mm^2}+\frac{1419.81\cdot 10^6 N\cdot mm}{0.863\cdot 9.35\cdot 10^6 mm^3};$$

$$\frac{N}{\varphi \cdot A}+\frac{M_y}{\varphi_g \cdot W_y}=29.00+175.96=204.96 N/mm^2 < R=220 N/mm^2.$$

$\Rightarrow$ Relația de verificare este satisfăcută.

Observație:

Datorită faptului că solicitările din **combinația V** de încărcări sunt mai reduse decât solicitările obținute în **combinația IV** de încărcări, nu prezintă interes efectuarea verificărilor cu solicitările din **combinația V**.

4.5. VERIFICARE DE REZISTENȚĂ ÎN DREPTUL GOLULUI DE TRECERE

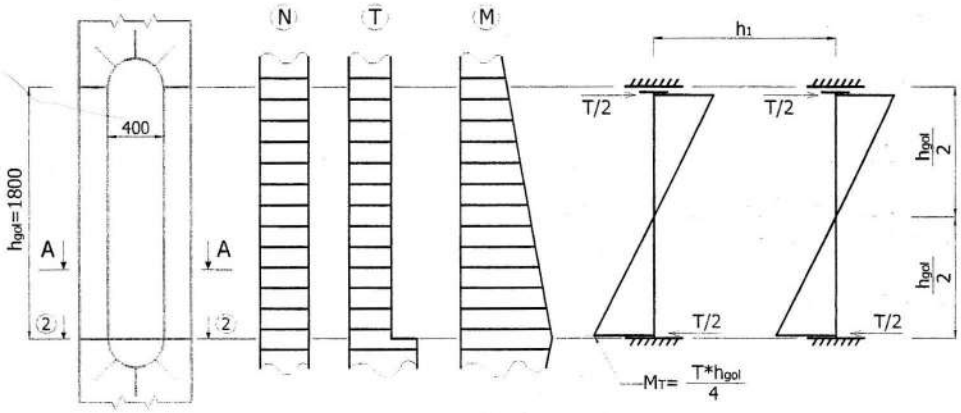


Fig. 4.23. Diagrame de eforturi în dreptul golului de trecere

Pentru a se obține aproximativ aceeași arie cu cea a secțiunii tronsonului superior de stâlp, rigiditățile ce bordează fața interioară a golului de trecere vor avea dimensiunile de cel puțin $8\times 200mm$.

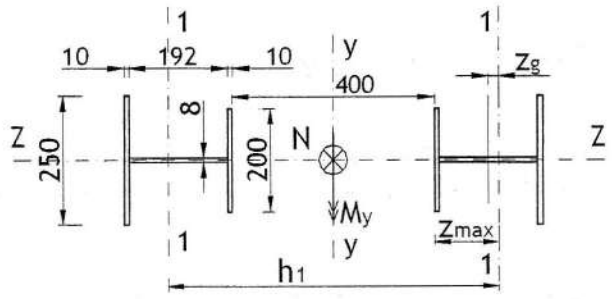
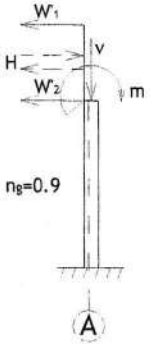


Fig. 4.24. Secțiune transversală prin dreptul golului de trecere

Pentru verificarea golului de trecere prezintă interes combinațiile de încărcări ce conduc la eforturi cât mai mari în secțiunea 2-2.

Combinația VII de încărcări: toate încărcările permanente (caz A + B) şi cvasipermanente (caz C + D) ⊕ următorele încărcări variabile: vânt (caz M) + poduri rulante (caz G + H).



Se iau în calcul două încărcări variabile (vânt + poduri rulante), prin urmare $n_g = 0.9$.

Observație:
Se consideră (dintre cazurile H, I, J sau K) cazul de încărcări orizontale generate de acțiunea podurilor rulante, care conduce în secțiunea 2-2 la moment încovoietor cât mai mare, care să întindă fibrele stâlpului din interiorul halei (se alege cazul H de încărcare).

$$N_{2-2} = N_A + N_B + N_C + N_D + n_g \cdot N_G + n_g \cdot N_H + n_g \cdot N_M;$$

$$N_{2-2} = 123.42kN + 0kN + 190.08kN + 0kN + 0.9 \cdot 0kN + 0.9 \cdot 0kN + 0.9 \cdot 0kN = 313.50kN;$$

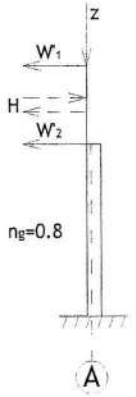
$$T_{2-2} = T_A + T_B + T_C + T_D + n_g \cdot T_G + n_g \cdot T_H + n_g \cdot T_M;$$

$$T_{2-2} = -1.3kN + 2.82kN - 2.00kN + 0.16kN + 0.9 \cdot 26.58kN + 0.9 \cdot 16.24kN + 0.9 \cdot 29.45kN = 64.72kN;$$

$$M_{2-2} = M_A + M_B + M_C + M_D + n_g \cdot M_G + n_g \cdot M_H + n_g \cdot M_M;$$

$$M_{2-2} = 5.56kN \cdot m - 12.25kN \cdot m + 8.71kN \cdot m - 0.69kN \cdot m - 0.9 \cdot 115.64kN \cdot m - 0.9 \cdot 70.63kN \cdot m - 0.9 \cdot 128.11kN \cdot m = -281.61kN \cdot m.$$

Combinația VIII de încărcări: toate încărcările permanente (caz A + B) şi cvasipermanente (caz C + D) ⊕ următorele încărcări variabile: vânt (caz M) + poduri rulante (caz G + H) + zăpadă (caz E).



Se iau în calcul trei încărcări variabile (vânt + poduri rulante + zăpadă), prin urmare $n_g = 0.8$.

Observație:
Se consideră (dintre cazurile H, I, J sau K) cazul de încărcări orizontale generate de acțiunea podurilor rulante, care conduce în secțiunea 3-3 la moment încovoietor cât mai mare, care să întindă fibrele stâlpului din interiorul halei (se alege cazul H de încărcare).

$$N_{2-2} = N_A + N_B + N_C + N_D + n_g \cdot N_E + n_g \cdot N_G + n_g \cdot N_H + n_g \cdot N_M;$$

$$N_{2-2} = 123.42kN + 0kN + 190.08kN + 0kN + 0.8 \cdot 240.29kN + 0.8 \cdot 0kN + 0.8 \cdot 0kN + 0.8 \cdot 0kN = 505.73kN;$$

$$T_{2-2} = T_A + T_B + T_C + T_D + n_g \cdot T_E + n_g \cdot T_G + n_g \cdot T_H + n_g \cdot T_M;$$

$$T_{2-2} = -1.3kN + 2.82kN - 2.00kN + 0.16kN - 0.8 \cdot 2.53kN + 0.8 \cdot 26.58kN + 0.8 \cdot 16.24kN + 0.8 \cdot 29.45kN;$$

$$T_{2-2} = 55.47kN;$$

$$M_{2-2} = M_A + M_B + M_C + M_D + n_g \cdot M_E + n_g \cdot M_G + n_g \cdot M_H + n_g \cdot M_M;$$

$$M_{2-2} = 5.66kN \cdot m - 12.25kN \cdot m + 8.71kN \cdot m - 0.69kN \cdot m + 0.8 \cdot 11.01kN \cdot m - 0.8 \cdot 115.64kN \cdot m - 0.8 \cdot 70.63kN \cdot m - 0.8 \cdot 128.11kN \cdot m = -241.27kN \cdot m.$$

Combinația VI de încărcări:
Cazul de încărcare N + Cazul de încărcare O + Cazul de încărcare Q .

$$N_{2-2} = N_N + N_O + N_Q = 318.12kN + 0kN + 0kN = 318.12kN;$$
$$T_{2-2} = T_N + T_O + T_Q = -3.35kN + 11.87kN + 53.59kN = 62.11kN;$$
$$M_{2-2} = M_N + M_O + M_Q = 14.57kN \cdot m - 51.63kN \cdot m - 233.12kN \cdot m = -270.18kN \cdot m;$$

Caracteristicile geometrice ale secțiunii sunt:

A_r - aria unei ramuri;
h_1 - distanța dintre centrele de greutate ale ramurilor;
W_1 - modulul de rezistență al unei ramuri în raport cu axa 1-1; $W_1 = \dfrac{I_{1r}}{z_{\max}}$;

$$A_r = 250 \cdot 10 + 8 \cdot 200 + 192 \cdot 8 = 5636mm^2;$$
$$z_G = \frac{\sum A_i \cdot z_i}{\sum A_i} = \frac{250 \cdot 10 \cdot 101 + 192 \cdot 8 \cdot 0 - 200 \cdot 8 \cdot 100}{250 \cdot 10 + 192 \cdot 8 + 200 \cdot 8} = \frac{92500}{5636} \cong 16.41mm;$$
$$I_{1r} = \frac{8^3 \cdot 200}{12} + \frac{10^3 \cdot 250}{12} + \frac{192^3 \cdot 8}{12} + 8 \cdot 200 \cdot (116.41)^2 + 10 \cdot 250 \cdot (84.59)^2 + 192 \cdot 8 \cdot (16.41)^2;$$
$$I_{1r} = 44.73 \cdot 10^6 mm^4;$$
$$z_{\max} = 8 + 96 + 16.41 = 120.41mm; W_{1r} = \frac{I_{1r}}{z_{\max}} = \frac{44.73 \cdot 10^6 mm^4}{120.41mm} \cong 0.37 \cdot 10^6 mm^3;$$
$$h_1 = 400mm + 2 \cdot z_{\max} = 400 + 2 \cdot 120.41 = 640.82mm.$$

► Verificarea de rezistență a secțiunii se face folosind relația: $\boxed{\sigma_N + \sigma_M + \sigma_T \le R.}$

unde: $\boxed{\sigma_N = \dfrac{N}{2 \cdot A_r}}$; $\boxed{\sigma_M = \dfrac{M}{h_1 \cdot A_r}}$; $\boxed{\sigma_T = \dfrac{M_T}{W_{1r}} = \dfrac{T \cdot h_{gol}}{4 \cdot W_{1r}}}$.

Verificarea secțiunii cu solicitările din **combinația VI** de încărcări: $\begin{cases} N = 318.12kN; \\ T = 62.11kN; \\ M = 270.18kN \cdot m. \end{cases}$

$$\sigma_N + \sigma_M + \sigma_T = \frac{N}{2 \cdot A_r} + \frac{M}{h_1 \cdot A_r} + \frac{T \cdot h_{gol}}{4 \cdot W_{1r}} = \frac{318.12 \cdot 10^3 N}{2 \cdot 5636mm^2} + \frac{270.18 \cdot 10^6 N \cdot mm}{640.82mm \cdot 5636mm^2} +$$
$$+ \frac{62.11 \cdot 10^3 N \cdot 1800mm}{4 \cdot 0.37 \cdot 10^6 mm^3} = 28.22 + 74.81 + 75.54 = 178.57N/mm^2 < R = 220N/mm^2.$$

⇒ Relația de verificare este satisfăcută.

Verificarea secțiunii cu solicitările din **combinația VII** de încărcări: $\begin{cases} N = 313.50kN; \\ T = 64.72kN; \\ M = 281.61kN \cdot m. \end{cases}$

$$\sigma_N+\sigma_M+\sigma_T=\frac{N}{2\cdot A_r}+\frac{M}{h_1\cdot A_r}+\frac{T\cdot h_{gol}}{4\cdot W_{1r}}=\frac{313.50\cdot 10^3 N}{2\cdot 5636mm^2}+\frac{281.61\cdot 10^6 N\cdot mm}{640.82mm\cdot 5636mm^2}+$$

$$+\frac{64.72\cdot 10^3 N\cdot 1800mm}{4\cdot 0.37\cdot 10^6 mm^3}=27.81+77.97+78.71=184.49N/mm^2<R=220N/mm^2.$$

$\Rightarrow$ Relația de verificare este satisfăcută.

Verificarea secțiunii cu solicitările din **combinația VIII** de încărcări: $\begin{cases} N=505.73kN; \\ T=55.47kN; \\ M=241.27kN\cdot m. \end{cases}$

$$\sigma_N+\sigma_M+\sigma_T=\frac{N}{2\cdot A_r}+\frac{M}{h_1\cdot A_r}+\frac{T\cdot h_{gol}}{4\cdot W_{1r}}=\frac{505.73\cdot 10^3 N}{2\cdot 5636mm^2}+\frac{241.27\cdot 10^6 N\cdot mm}{640.82mm\cdot 5636mm^2}+$$

$$+\frac{55.47\cdot 10^3 N\cdot 1800mm}{4\cdot 0.37\cdot 10^6 mm^3}=44.87+66.80+67.47=179.14N/mm^2<R=220N/mm^2.$$

$\Rightarrow$ Relația de verificare este satisfăcută.

4.6. CALCULUL BAZEI STÂLPULUI

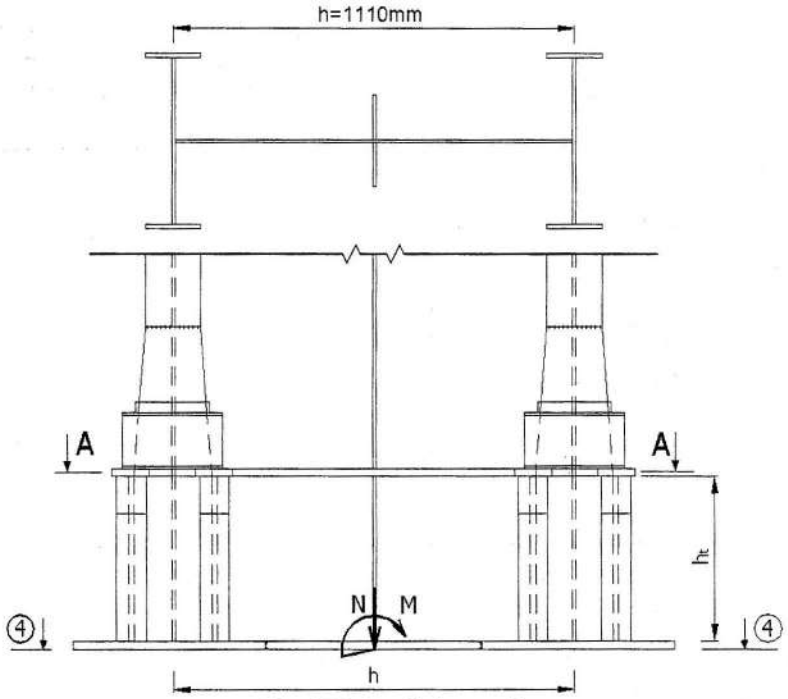


Fig. 4.25. Detaliu bază stâlp

4.6.1. DIMENSIONAREA BULONULUI DE ANCORAJ

Pentru dimensionarea bulonului de ancoraj prezintă interes combinațiile de încărcări ce conduc în secțiunea 4 - 4 la un moment încovoietor cât mai mare și la o forță axială cât mai redusă. Se propun spre analiză combinațiile de încărcări:

Combinația IX de încărcări: toate încărcările permanente (caz A + B) ⊕ vânt →(caz L).

Se ia în calcul o singură încărcare variabilă (vânt), prin urmare $n_g = 1.0$.

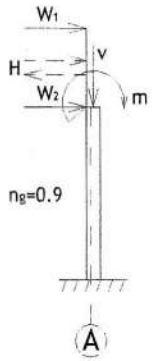
$$N_{4-4} = N_A + N_B + n_g \cdot N_L = 123.42kN + 47.19kN + 1.0 \cdot 0kN = 170.61kN;$$
$$M_{4-4} = M_A + M_B + n_g \cdot M_L = 4.22kN \cdot m - 9.17kN \cdot m + 1.0 \cdot 950.98kN \cdot m = 946.03kN \cdot m;$$

Combinația X de încărcări: toate încărcările permanente (caz A + B) ⊕ vânt →(caz M).

Se ia în calcul o singură încărcare variabilă (vânt), prin urmare $n_g = 1.0$.

$$N_{4-4} = N_A + N_B + n_g \cdot N_M = 123.42kN + 47.19kN + 1.0 \cdot 0kN = 170.61kN;$$
$$M_{4-4} = M_A + M_B + n_g \cdot M_M = 4.22kN \cdot m - 9.17kN \cdot m - 1.0 \cdot 979.30kN \cdot m = -974.35kN \cdot m;$$

Combinația XI de încărcări: toate încărcările permanente (caz A + B) ⊕ următoarele încărcări variabile: vânt (caz L) + poduri rulante (caz G + I).

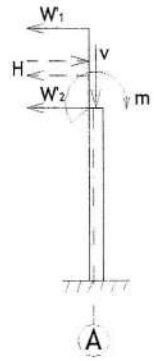


Se iau în calcul două încărcări variabile (vânt + poduri rulante), prin urmare $n_g = 0.9$.

Observație:
Se consideră (dintre cazurile H, I, J sau K) cazul de încărcări orizontale generate de acțiunea podurilor rulante, care conduce în secțiunea 4-4 la moment încovoietor cât mai mare, care să întindă fibrele stâlpului dinspre exteriorul halei (se alege cazul I de încărcare).

$$N_{4-4} = N_A + N_B + n_g \cdot N_G + n_g \cdot N_I + n_g \cdot N_L;$$
$$N_{4-4} = 123.42kN + 47.19kN + 0.9 \cdot 176.36kN + 0.9 \cdot 0kN + 0.9 \cdot 0kN = 329.33kN;$$
$$M_{4-4} = M_A + M_B + n_g \cdot M_G + n_g \cdot M_I + n_g \cdot M_L;$$
$$M_{4-4} = 4.22kN \cdot m - 9.17kN \cdot m - 0.9 \cdot 315.31kN \cdot m + 0.9 \cdot 284.13kN \cdot m +$$
$$+ 0.9 \cdot 950.98kN \cdot m = 822.87kN \cdot m.$$

Combinația XII de încărcări: toate încărcările permanente (caz A + B) ⊕ următoarele încărcări variabile: vânt (caz L) + poduri rulante (caz G + K).



Se iau în calcul două încărcări variabile (vânt + poduri rulante), prin urmare $n_g = 0.9$.

Observație:
Se consideră (dintre cazurile H, I, J sau K) cazul de încărcări orizontale generate de acțiunea podurilor rulante, care conduce în secțiunea 4-4 la moment încovoietor cât mai mare, care să întindă fibrele stâlpului dinspre exteriorul halei (se alege cazul K de încărcare).

$N_{4-4} = N_A + N_B + n_g \cdot N_G + n_g \cdot N_K + n_g \cdot N_M;$

$N_{4-4} = 123.42kN + 47.19kN + 0.9 \cdot 176.36kN + 0.9 \cdot 0kN + 0.9 \cdot 0kN = 329.33kN;$

$M_{4-4} = M_A + M_B + n_g \cdot M_G + n_g \cdot M_K + n_g \cdot M_M;$

$M_{4-4} = 4.22kN \cdot m - 9.17kN \cdot m - 0.9 \cdot 315.31kN \cdot m - 0.9 \cdot 284.13kN \cdot m -$

$-0.9 \cdot 979.30kN \cdot m = -1425.82kN \cdot m.$

În această rezolvare a prinderii stâlpului de fundație (figurile 4.25 şi 4.26) efortul din bulon se va stabili folosind relația următoare: $\boxed{N_b = \frac{1}{n_i} \cdot \left(\frac{M}{h} - \frac{N}{2} \right)}$.

unde:

n_i = numărul de buloane întinse ; $n_i = 2$.

M şi N sunt eforturi în secțiunea 4 – 4 înregistrate în aceeaşi combinație de încărcări.

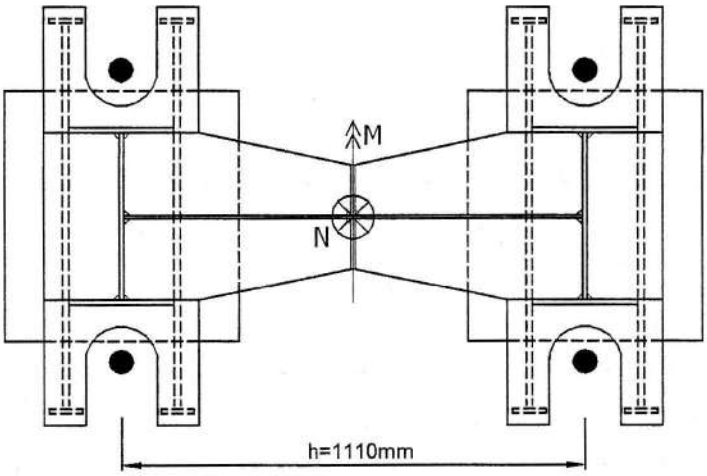


Fig. 4.26. Secțiune A-A prin baza stâlpului

Pentru **combinația IX** de încărcări: $\begin{cases} N = 170.61kN; \\ M = 946.03kN \cdot m. \end{cases}$

$$N_{b(IX)} = \frac{1}{n_i} \cdot \left(\frac{M}{h} - \frac{N}{2} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{946.03kN \cdot m}{1.11m} - \frac{170.61kN}{2} \right) = 383.49kN;$$

Pentru **combinația X** de încărcări: $\begin{cases} N = 170.61kN; \\ M = 974.35kN \cdot m. \end{cases}$

$$N_{b(X)} = \frac{1}{n_i} \cdot \left(\frac{M}{h} - \frac{N}{2} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{974.35kN \cdot m}{1.11m} - \frac{170.61kN}{2} \right) = 396.24kN;$$

Pentru **combinația XI** de încărcări: $\begin{cases} N = 329.33kN; \\ M = 822.87kN \cdot m. \end{cases}$

$$N_{b(XI)} = \frac{1}{n_i} \cdot \left(\frac{M}{h} - \frac{N}{2} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{822.87kN \cdot m}{1.11m} - \frac{329.33kN}{2} \right) = 288.33kN;$$

Pentru **combinația XII** de încărcări: $\begin{cases} N = 329.33kN; \\ M = 1425.82kN \cdot m. \end{cases}$

$$N_{b(XII)} = \frac{1}{n_1} \cdot \left(\frac{M}{h} - \frac{N}{2} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1425.82kN \cdot m}{1.11m} - \frac{329.33kN}{2} \right) = 559.93kN;$$

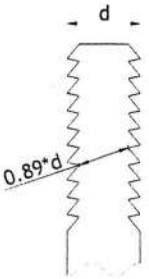
Prin urmare efortul de dimensionare al bulonului de ancoraj va fi următorul:

$$N_b = \max\left\{ N_{b(IX)}; N_{b(X)}; N_{b(XI)}; N_{b(XII)} \right\} = 559.93kN.$$

Efortul capabil la întindere al unui bulon de ancoraj se calculează cu relația:

$$\boxed{N^i_{cap\_b} = A_S \cdot R^b_t \cong \frac{\pi \cdot (0.89 \cdot d)^2}{4} \cdot R^b_t}$$

unde:



A_S = aria secțiunii de rezistență (la întindere) în zona filetată, care se acceptă să se calculeze aproximativ cu relația: $A_S \cong \frac{\pi \cdot (0.89 \cdot d)^2}{4}$

d = diametrul exterior al zonei filetate a bulonului de ancoraj;

$0.89 \cdot d$ = diametrul interior convențional al zonei filetate a bulonului de ancoraj;

Se pot utiliza buloane de ancoraj având diametrul: M48; M56; M64; M72; M76; M80; M85; M90.

R^b_t = rezistența de calcul la întindere a bulonului de ancoraj ce se va extrage din tabelul următor:

Grupa de caracteristici mecanice	4.6.	4.8.	5.6.	6.6.	5.8.	6.8.
R^b_t [N/mm^2]	150	190	190	210	240	280

Se propun buloane de ancoraj din grupa 4.6.($R^b_t = 150N/mm^2$).

$$N^i_{cap\_b} = \frac{\pi \cdot (0.89 \cdot d)^2}{4} \cdot R^b_t = N_b \Rightarrow d_{nec} = \sqrt{\frac{4 \cdot N_b}{\pi \cdot (0.89 \cdot d)^2 \cdot R^b_t}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 559.93 \cdot 10^3 N}{\pi \cdot (0.89)^2 \cdot R^b_t}} \cong 77.48mm.$$

Prin urmare se vor folosi buloane de ancoraj M80 grupa 4.6..

4.6.2. STABILIREA ÎNĂLȚIMII TRAVERSEI „h_t".

Observație:

Pentru predimensionarea traversei se acceptă, că aceasta transmite efortul maxim de compresiune la placa de bază prin intermediul sudurilor, fără a se ține seama de contactul cu placa de bază.

Nu s-a considerat în calcul încovoierea la care este supusă traversa în ipoteza în care ramura este întinsă.

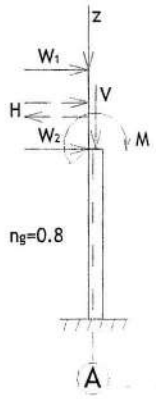
Pentru un calcul complet traversa se verifică în ambele situații de încărcare.

Pentru stabilirea înălțimii traversei și dimensionarea plăcii de bază prezintă interes combinațiile de încărcări ce conduc în secțiunea 4 – 4 la valori cât mai mari pentru forța axială și momentul încovoietor. Se propun spre analiză combinațiile de încărcări ce urmează:

Combinația III de încărcări: toate încărcările permanente (caz A + B) și cvasipermanente (caz C + D) ⊕ următorele încărcări variabile: vânt (caz L) + poduri rulante (caz F + I).

$$N_{4-4} = N_A + N_B + N_C + N_D + n_g \cdot N_F + n_g \cdot N_I + n_g \cdot N_L = 1006.53kN;$$
$$M_{4-4} = M_A + M_B + M_C + M_D + n_g \cdot M_F + n_g \cdot M_I + n_g \cdot M_L = 1240.68kN \cdot m.$$

Combinația XIII de încărcări: toate încărcările permanente (caz A + B) și cvasipermanente (caz C + D) ⊕ următoarele încărcări variabile: vânt (caz L) + poduri rulante (caz F + I) + zăpadă (caz E).



Se iau în calcul două încărcări variabile (vânt + poduri rulante), prin urmare $n_g = 0.8$.

Observație:
Se consideră (dintre cazurile H, I, J sau K) cazul de încărcări orizontale generate de acțiunea podurilor rulante, care conduce în secțiunea 4-4 la moment încovoietor cât mai mare, care să întindă fibrele stâlpului dinspre exteriorul halei (se alege cazul K de încărcare).

$$N_{4-4} = N_A + N_B + N_C + N_D + n_g \cdot N_E + n_g \cdot N_F + n_g \cdot N_I + n_g \cdot N_L;$$
$$N_{4-4} = 123.42kN + 47.19kN + 190.08kN + 2.64kN + 0.8 \cdot 240.29kN + 0.8 \cdot 714.67kN + $$
$$+ 0.8 \cdot 0 + 0.8 \cdot 0 = 1127.30kN;$$
$$M_{4-4} = M_A + M_B + M_C + M_D + n_g \cdot M_E + n_g \cdot M_F + n_g \cdot M_I + n_g \cdot M_L;$$
$$M_{4-4} = 4.22kN \cdot m - 9.17kN \cdot m + 6.52kN \cdot m - 0.51kN \cdot m + 0.8 \cdot 8.23kN \cdot m +$$
$$+ 0.8 \cdot 142.25kN \cdot m + 0.8 \cdot 284.13kN \cdot m + 0.8 \cdot 950.98kN \cdot m = 1109.53kN \cdot m.$$

Efortul axial maxim înregistrat într-o ramură se stabilește folosind relația: $\boxed{N_r = \frac{M}{h} + \frac{N}{2}}$.

Pentru **combinația III** de încărcări: $\begin{cases} N = 1006.53kN; \\ M = 1240.68kN \cdot m. \end{cases}$

$$N_{r(III)} = \frac{M}{h} + \frac{N}{2} = \frac{1240.68kN \cdot m}{1.11m} + \frac{1006.53kN}{2} = 1621.0kN;$$

Pentru **combinația XIII** de încărcări: $\begin{cases} N = 1127.30kN; \\ M = 1109.53kN \cdot m. \end{cases}$

$$N_{r(XIII)} = \frac{M}{h} + \frac{N}{2} = \frac{1109.53kN \cdot m}{1.11m} + \frac{1127.30kN}{2} = 1563.23kN;$$

Prin urmare efortul axial maxim înregistrat într-o ramură este:

$$N_r = \max\{N_{r(III)}; N_{r(XIII)}\} = 1621.0kN.$$

Pentru prinderea traverselor unei ramuri se propun patru cordoane de sudură cu $a_s = 7mm$;

Înălțimea traversei rezultă din relația: $\boxed{h_t^{nec} = \frac{N_r}{4 \cdot a_s \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_s}$.

$$h_t^{nec} = \frac{N_r}{4 \cdot a_s \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_s = \frac{1621.0 \cdot 10^3 N}{4 \cdot 7mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 7mm = 399.96mm;$$

$\Rightarrow$ se propune $h_t = 410mm$.

4.6.3. DIMENSIONAREA PLĂCII DE BAZĂ

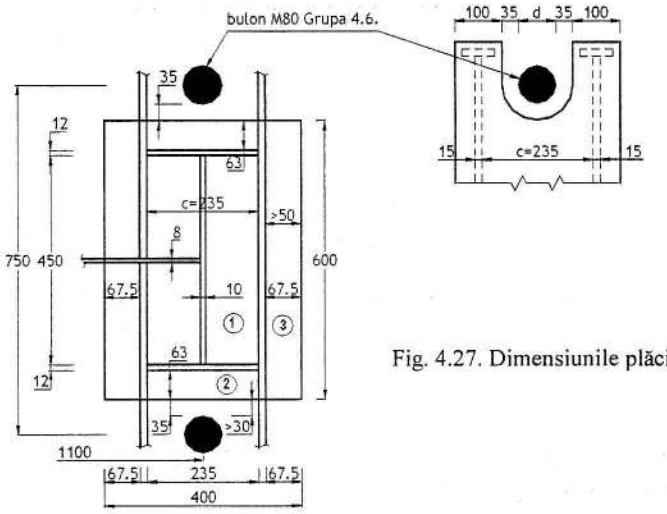
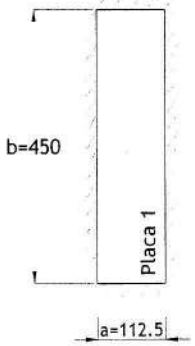
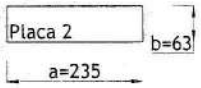


Fig. 4.27. Dimensiunile plăcii de bază

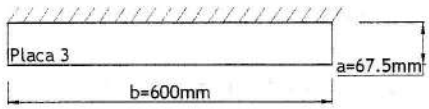
Placa (1):



Placa (2):



Placa (3):



Pentru dimensionarea plăcii de bază se parcurg următoarele etape:

1^0 Se propune clasa betonului utilizat pentru realizarea fundației stâlpului:

- se propune C12/15 $\Rightarrow R_b = 8.0N/mm^2$.

2^0 Se propun dimensiunile în plan ale plăcii de bază: A și B.

- propun $\begin{cases} A = 400mm; \\ B = 600mm. \end{cases}$

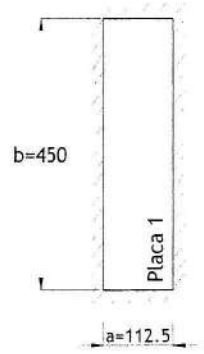
3^0 Se verifică dacă presiunea de sub placa de bază este mai mică decât rezistența de calcul la compresiune a betonului R_b.

$$\sigma_b = \frac{1.1 \cdot N_r}{A \cdot B} = \frac{1.1 \cdot 1621.0 \cdot 10^3 N}{400mm \cdot 600mm} = 7.43N/mm^2 < R_b = 8.0N/mm^2.$$

4^0 Se determină momentul încovoietor maxim înregistrat pe placa de bază :
$M = \max\{M_1, M_2, M_3\}$.
Pentru aceasta placa de bază se divide în mai multe plăci mai mici în funcție de modul de rezemare : Placa (1) – rezemată pe toate laturile;
Placa (2) – rezemată pe trei laturi;
Placa (3) – rezemată pe o singură latură.

- Momentul încovoietor maxim înregistrat pe placa (1) se determină folosind relația:

$$\boxed{M_1 = \alpha \cdot \sigma_b \cdot a^2 \cdot 1mm.}$$



$b \geq a$;
$a = 112.5mm$;
$b = 450mm$;
$\frac{b}{a} = \frac{450mm}{112.5mm} = 4$;
α se interpolează în funcție de raportul $\frac{b}{a}$ pe baza valorilor din tabelul de mai jos:

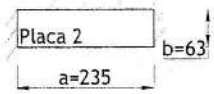
b/a	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	>2.0
α	0.048	0.055	0.063	0.069	0.075	0.081	0.086	0.091	0.094	0.098	0.100	0.125

$\frac{b}{a} = 4 > 2$; prin urmare $\alpha = 0.125$.

$M_1 = 0.125 \cdot 7.43N/mm^2 \cdot (112.5mm)^2 \cdot 1m \cong 11755N \cdot mm.$

- Momentul încovoietor maxim înregistrat pe placa (2) se determină folosind relațiile:

$$\boxed{M_2 = \begin{cases} \beta \cdot \sigma_b \cdot a^2 \cdot 1mm \rightarrow \frac{b_1}{a} \geq 0.5; \\ 0.5 \cdot \sigma_b \cdot b_1{}^2 \cdot 1mm \rightarrow \frac{b_1}{a} < 0.5. \end{cases}}$$



Observație:

Cu a se notează întotdeauna latura liberă a plăcii.

$b_1 = 63mm;\ a = 235mm;\ \frac{b_1}{a} = \frac{63mm}{235mm} = 0.25 < 0.5;$

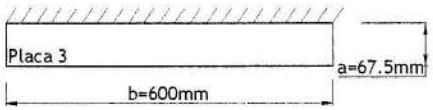
Deci $M_2 = 0.5 \cdot \sigma_b \cdot b_1^{\,2} \cdot 1mm = 0.5 \cdot 7.43N/mm^2 \cdot (63mm)^2 \cdot 1mm \cong 14745N \cdot mm.$

Valorile coeficientului β se determină prin interpolare în funcție de raportul $\frac{b_1}{a}$ pe baza valorilor din tabelul următor:

b_1/a	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	>2.0
α	0.060	0.074	0.088	0.097	0.107	0.112	0.120	0.126	0.128	0.130	0.132	0.133

- Momentul încovoietor maxim înregistrat pe placa (3) se determină folosind relația:

$$\boxed{M_3 = 0.5 \cdot \sigma_b \cdot a^2 \cdot 1mm.}$$



$a = 67.5mm;$

$M_3 = 0.5 \cdot 7.43N/mm^2 \cdot (67.5mm)^2 \cdot 1mm \cong 16927N \cdot mm.$

Prin urmare momentul încovoietor maxim înregistrat pe placa de bază are valoarea:

$M = M_3 = 17086N \cdot mm.$

5^0 Se stabileşte modulul de rezistență necesar

$W_{nec} = \frac{M}{R} = \frac{16927N \cdot mm}{210N/mm^2} \cong 81.37mm^3.$

6^0 Se determină grosimea necesară a plăcii de bază: $t \in \{20;22;25;30;35;40\}$.

$W_{nec} = \frac{t_{nec}^2 \cdot 1mm}{6} \Rightarrow t_{nec} = \sqrt{\frac{6 \cdot W_{nec}}{1mm}} = \sqrt{\frac{81.37mm^3 \cdot 6}{1mm}} \cong 22.10mm.$

Prin urmare se alege pentru placa de bază grosimea $t = 25mm > t_{nec} = 22.10mm.$

4.7. CALCUL FUNDAȚIE STÂLP CURENT

Caracteristicile bulonului de ancoraj sunt: M80 gr. 4.6. ($R_b^I = 150N/mm^2$).

Armătura de rezistență se realizează din PC52 $\Rightarrow R_a = 300N/mm^2$.

Betonul folosit la realizarea fundației este C 12/15 $\Rightarrow R_b(\sigma_b) = 8.0N/mm^2$.

4.7.1. DIMENSIONARE ARMĂTURĂ A_{a1}

Această dimensionare se face din condiția ca în secțiunea I – I, armătura A_{a1} să fie capabilă să preia solicitările corespunzătoare atingerii momentului $M_{cor}^{buloane}$ în secțiunea 4 – 4.

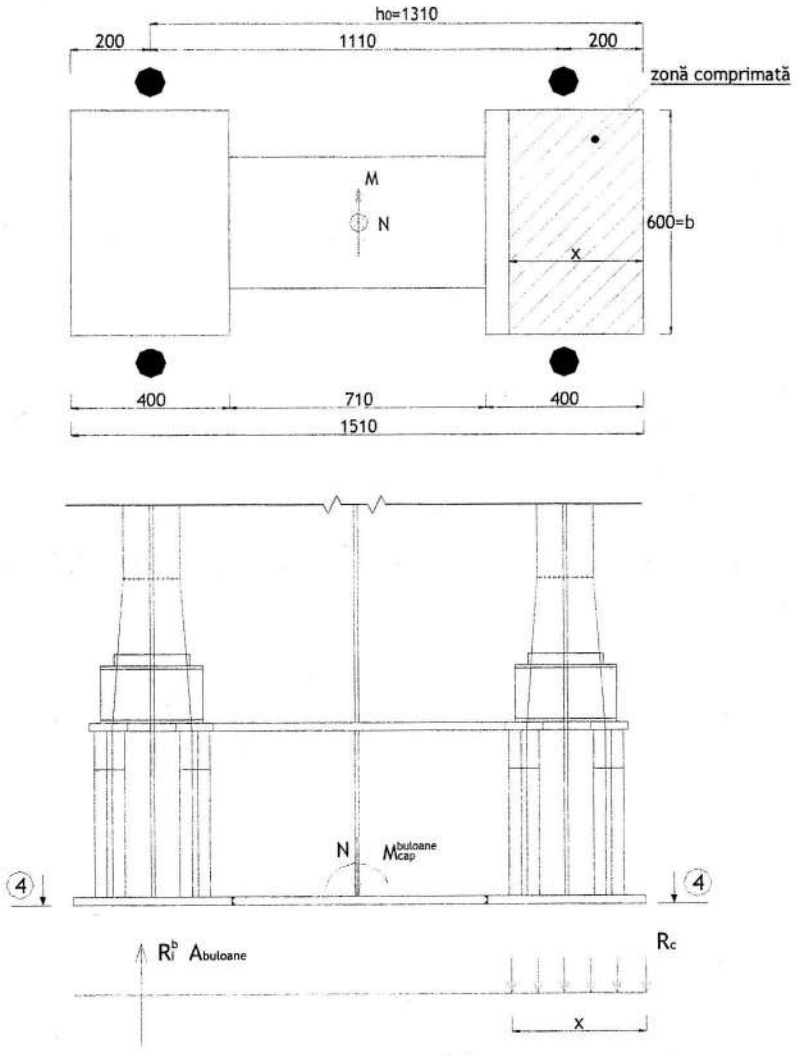


Fig. 4.28. Calclulul momentului $M_{cor}^{buloane}$

♦ Calculul $M_{cor}^{buloane}$ (momentului încovoietor corespunzător atingerii efortului capabil de întindere în buloanele de ancoraj):

Observație:

Efortul capabil de întindere în buloanele de ancoraj poate fi atins în gruparea specială de încărcări datorită acțiunii seismice. Prin urmare se iau în calcul valori ale forței axiale și tăietoare dintr-o combinație de încărcări ce cuprinde și acțiunea seismică: $\rightarrow N = 517.2kN$ și $T = 85.0kN$ (secțiunea 4 – 4 în **combinația V** de încărcări ce cuprinde și acțiunea seismică).

Se scriu ecuațiile de echilibru:

1^0 Ecuație de proiecție:

$$N = b \cdot x \cdot R_c - A_{buloane} \cdot R_i^b \Leftrightarrow$$

$$x = \frac{N + A_{buloane} \cdot R_i^b}{b \cdot R_c} \Leftrightarrow$$

$$x = \frac{517.2 \cdot 10^3 N + 7963mm^2 \cdot 150N/mm^2}{600mm \cdot 8.0N/mm^2} \Leftrightarrow$$

$x = 357mm < 400mm$ (lățimea plăcii de bază de sub o ramură).

Se folosesc câte două buloane de ancoraj M80 gr.4.6. $\Rightarrow R_i^b = 150N/mm^2$;

$$A_{buloane} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot (0.89 \cdot d)^2}{4} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot (0.89 \cdot 80mm)^2}{4} \cong 7963mm^2;$$

În fundație se prevede beton C 12/15 $\Rightarrow R_c = 18.0N/mm^2$.

2^0 Ecuație de moment în raport cu punctul de aplicație al rezultantei efortului de întindere din buloanele de ancoraj:

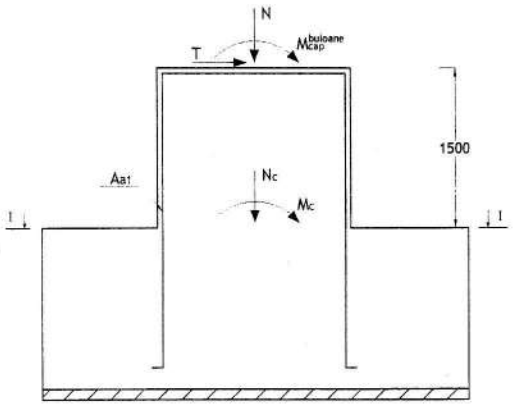
$$M_{cor}^{buloane} + N \cdot \frac{1110mm}{2} = b \cdot x \cdot R_c \cdot \left(h_0 - \frac{x}{2}\right) \Leftrightarrow$$

$$M_{cor}^{buloane} = 600mm \cdot 357mm \cdot 8.0N/mm^2 \cdot \left(1320 - \frac{357}{2}\right)mm - 517.2 \cdot 10^3 N \cdot \frac{1110mm}{2} \Leftrightarrow$$

$$M_{cor}^{buloane} \cong 1670kN \cdot m.$$

♦ Dimensionarea armăturii A_{a1}:

Eforturile la care se dimensionează armătura A_{a1} sunt: $\begin{cases} N = 517.2kN; \\ T = 85kN; \\ M_{cor}^{buloane} = 1670kN \cdot m. \end{cases}$



Stabilirea solicitărilor din secțiunea I – I:

$$N_c = N + G_{cuzinet};$$

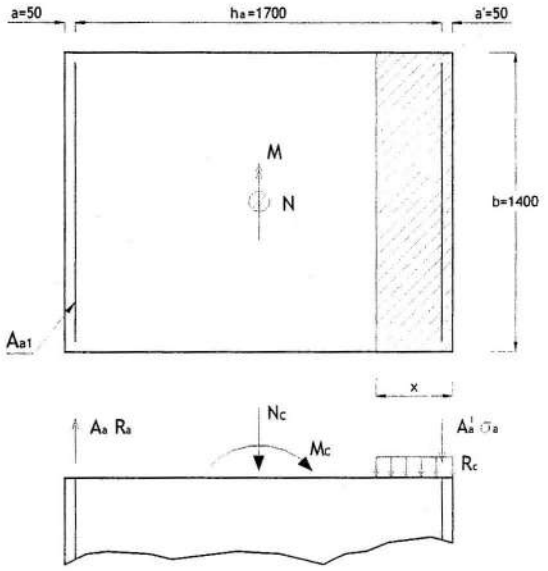
$$M_c = M_{cor}^{buloane} + T \cdot 1.5m$$

Pentru cuzinet s-au propus dimensiunile în plan de $1.4m \times 1.8m$.

$\Rightarrow G_{cuzinet} = 1.4m \cdot 1.8m \cdot 1.5m \cdot 25kN/m^3 = 94.5kN;$

$N_c = N + G_{cuzinet} = 517.2kN + 94.5kN \cong 612kN;$

$M_c = M_{cor}^{buloane} + T \cdot 1.5m = 1670.0kN \cdot m + 85kN \cdot 1.5m \cong 1798kN \cdot m.$



Materialele folosite sunt:

$$\begin{cases} C12/15 \rightarrow R_c = 8.0N/mm^2; \\ PC52 \rightarrow R_a = 300N/mm^2. \end{cases}$$

$$x = \frac{N}{b \cdot R_c} \cong 54.6mm;$$

$x < 2 \cdot a' \Rightarrow \sigma_a < R_a.$

1^0 Ecuație de proiecție:

$N_c = b \cdot x \cdot R_c - A_a \cdot R_a + A'_a \cdot \sigma_a;$

2^0 Ecuație de moment (în raport cu axul armăturii A'_a):

$$M_c - N_c \cdot \frac{h_a}{2} = A_a^{nec} \cdot R_a \cdot h_a + \underbrace{b \cdot x \cdot R_c \cdot \left(a' - \frac{x}{2}\right)}_{neglijabil} \Leftrightarrow$$

$$A_a^{nec} = \frac{M_c - N_c \cdot \frac{h_a}{2}}{R_a \cdot h_a} = \frac{1798 \cdot 10^6 N \cdot mm - 612 \cdot 10^3 N \cdot \frac{1700mm}{2}}{300N/mm^2 \cdot 1700mm} = 3526mm^2.$$

Din condiția de asigurare a unui procent minim de armare rezultă:

$p_{min} = 0.05\% \Rightarrow A_a^{min} = \frac{0.05}{100} \cdot b \cdot h = \frac{0.05}{100} \cdot 1400mm \cdot 1800mm = 1260mm^2 < A_a^{nec} = 3526mm^2.$

Se propune o armare cu 14 bare $\phi 18$ $(\phi 18/10cm)$ cu $A_{a1} = 3563mm^2 > A_{a1}^{nec} = 3526mm^2$.

4.7.2. DIMENSIONARE ARMĂTURĂ A_{a2}

Această dimensionare se face din condiția de procent minim de armare:

$A_{a2} \geq A_a^{min} = 1260mm^2 (p_{min} = 0.05\%).$

Se propune o armare cu 9 bare $\phi 14$ cu $A_{a2} = 1385mm^2 > A_a^{min} = 1260mm^2$.

4.7.3. DETERMINAREA ÎNĂLȚIMII TĂLPII FUNDAȚIEI

Din condiția de adâncime de îngheț rezultă: $D_f \geq h_i + 30cm$, unde:

h_i - adâncimea de îngheț ; $h_i = 110cm$;

D_f - adâncimea de fundare ; $D_f \geq 110cm + 30cm \Leftrightarrow D_f \geq 140cm = 1.40m$.

Din condiția de a nu fi necesară armarea tălpii fundației $(tg\alpha > 1.3)$ se propune o înălțime de talpă de 1500mm, astfel: $tg\alpha = \dfrac{1500mm}{1100mm} = 1.36 > 1.3$.

Terenul bun de fundare (argilă nisipoasă $p_{conv} = 4.0daN/cm^2$) se găsește la 3.8m adâncime față de cota terenului natural.

Talpa fundației pătrunde pe o adâncime de cel puțin 15 cm în terenul bun de fundare.

Adâncimea de fundare este de –4.35m față de cota ± 0.00 și la –4.15m față de CTN.

Nivelul apei subterane este la –5.1m față de cota terenului natural.

Se propun dimensiunile:

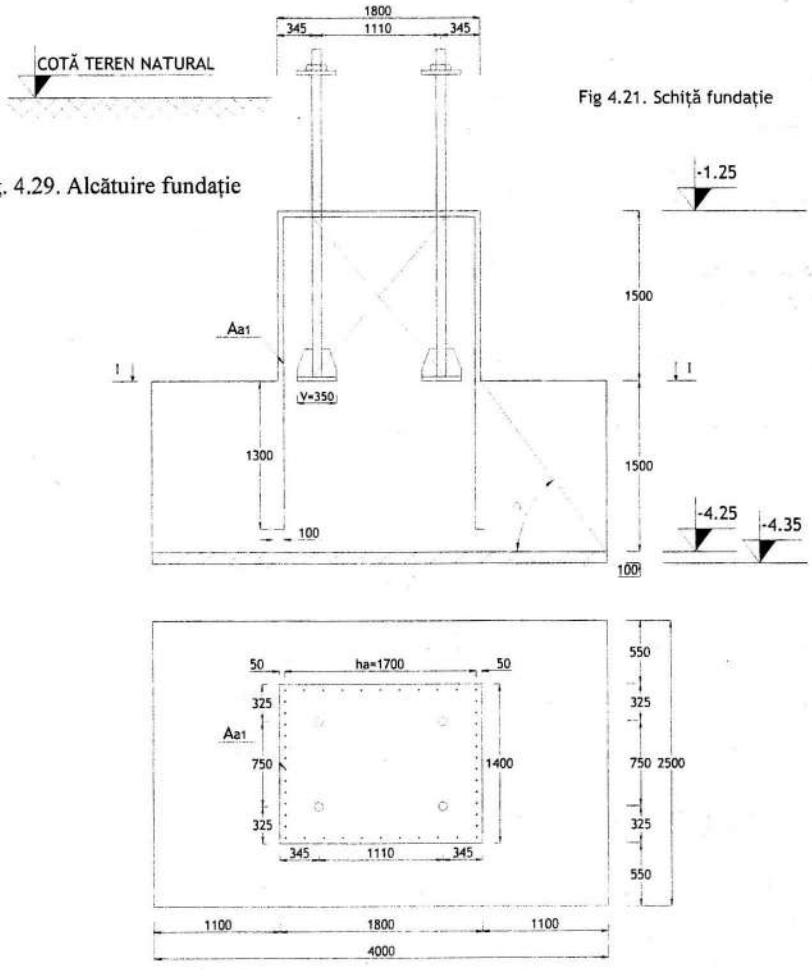


Fig 4.21. Schiță fundație

Fig. 4.29. Alcătuire fundație

4.7.4. DETERMINAREA DIMENSIUNILOR ÎN PLAN PENTRU TALPA FUNDAȚIEI

Se verifică dimensiunile fundației cu starea de eforturi din **combinația III** (gruparea fundamentală de încărcări):
$$\begin{cases} N = 1006.53kN \cong 1007kN; \\ T = 54.5kN \cong 55kN; \\ M = 1240.68kN \cdot m \cong 1241kN. \end{cases}$$

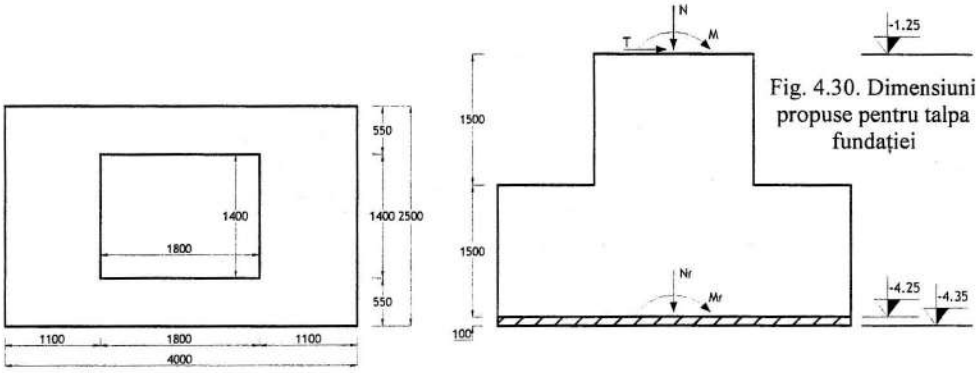


Fig. 4.30. Dimensiuni propuse pentru talpa fundației

$$M_f = M + T \cdot 3.0m = 1241kN \cdot m + 55kN \cdot 3m = 1406kN \cdot m;$$

$$N_f = N + G_f;$$

$$G_f = \overbrace{1.5m \cdot 2.5m \cdot 4.0m \cdot 24kN/m^3}^{greutate\_talpă} + \overbrace{1.5m \cdot 1.8m \cdot 1.4m \cdot 25kN/m^3}^{greutate\_cuzinet} + \overbrace{1.5m \cdot 18kN/m^3 \cdot (2.5 \cdot 4 - 1.8 \cdot 1.4)}^{greutate\_pământ}$$

$$G_f = 360kN + 94.5kN + 201.96kN \cong 656.5kN.$$

$$N_f = 1007kN + 656.5kN \cong 1664kN.$$

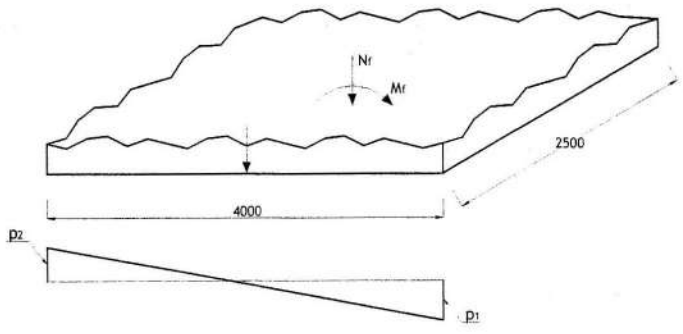
$$A_f = 2.5m \cdot 4.0m = 10m^2;$$

$$W_f = \frac{2.5m \cdot (4.0m)^2}{6} = 6.67m^3;$$

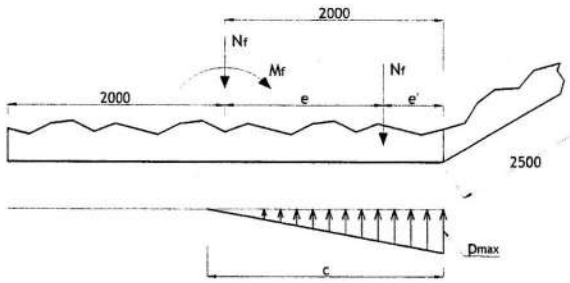
$$p_1 = \frac{N_f}{A_f} + \frac{M_f}{W_f} = \frac{1664kN}{10m^2} + \frac{1406kN \cdot m}{6.67m^3} = 377.20kN/m^2 \cong 3.78daN/cm^2;$$

$$p_2 = \frac{N_f}{A_f} - \frac{M_f}{W_f} = \frac{1664kN}{10m^2} - \frac{1406kN \cdot m}{6.67m^3} = -44.40kN/m^2 \cong -0.45daN/cm^2;$$

$p_2 < 0 \Rightarrow$ Este necesar un calcul de zonă activă.



Calcul de zonă activă:



Necunoscute problemei sunt:
- p_{max}=?;
- c=?.

$$e=\frac{M_f}{N_f}=\frac{1406kN\cdot m}{1664kN}\cong 0.85m;$$

$$e'=2.0m-0.85m=1.15m.$$

Ecuație de proiecție : $\boxed{N_f=\frac{1}{2}\cdot p_{max}\cdot c\cdot 2.5m}\Rightarrow\boxed{p_{max}=\frac{2\cdot N_f}{c\cdot 2.5m}}$.

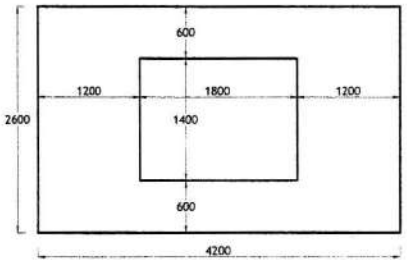
Ecuație de moment: $\boxed{N_f\cdot e'=\frac{1}{2}\cdot p_{max}\cdot c\cdot 2.5m\cdot\frac{c}{3}}\Rightarrow\boxed{e'=\frac{c}{3}}$.

deci $c=3\cdot e'=3\cdot 1.15=3.45m$;

$$p_{max}=\frac{2\cdot N_f}{c\cdot 2.5m}=\frac{2\cdot 1664kN}{3.45m\cdot 2.5m}\cong 3.86daN/cm^2.$$

$p_{max}=3.86daN/cm^2>1.2\cdot p_{conv}=3.6daN/cm^2\Rightarrow$ se redimensionează talpa fundației.

Se propun dimensiunile:



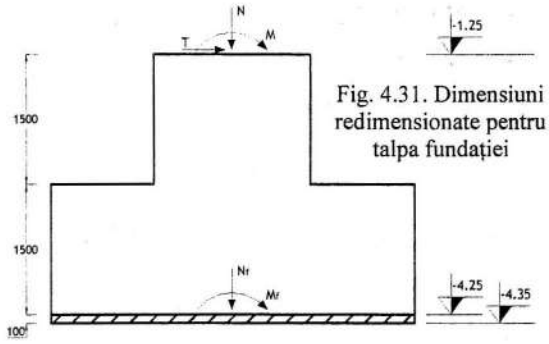


Fig. 4.31. Dimensiuni redimensionate pentru talpa fundației

$$G_f=\overbrace{1.5m\cdot 2.6m\cdot 4.2m\cdot 24kN/m^3}^{greutate\_talpă}+\overbrace{1.5m\cdot 1.8m\cdot 1.4m\cdot 25kN/m^3}^{greutate\_cuzinet}+\overbrace{1.5m\cdot 18kN/m^3\cdot\left(2.6\cdot 4.2-1.8\cdot 1.4\right)}^{greutate\_pământ}$$

$$G_f=393.12kN+94.5kN+226.8kN\cong 714.42kN.$$

$$N_f=N+G_f=1007kN+714.42kN\cong 1722kN.$$

$$A_f=2.6m\cdot 4.2m=10.92m^2;$$

$$W_f=\frac{2.6m\cdot(4.2m)^2}{6}=7.64m^3;$$

$$\left.\begin{array}{l} N_f = 1722kN \\ M_f = 1406kN \cdot m \end{array}\right\} \Rightarrow e = \frac{M_f}{N_f} = \frac{1406kN \cdot m}{1722kN} = 0.82m;$$

$e' = 2.1m - 0.82m = 1.28m;$

$c = 3 \cdot e' = 3 \cdot 1.28m = 3.84m;$

Verificarea întinderii zonei active:

- pentru grupări fundamentale de încărcări $c = 3.84m > 0.8 \cdot 4.2m = 3.36m.$

$$p_{max} = \frac{2 \cdot N_f}{c \cdot 2.6m} = \frac{2 \cdot 1722kN}{3.84m \cdot 2.6m} = 3.45daN/cm^2;$$

$p_{max} = 3.45daN/cm^2 < 1.2 \cdot p_{conv} = 3.6daN/cm^2 \Rightarrow$ dimensiunile tălpii fundației corespund.

Se verifică dimensiunile fundației şi la starea de eforturi din **combinația VI** (gruparea specială de încărcări): $\begin{cases} N = 517.12 \cong 518kN; \\ T = 84.52 \cong 85kN; \\ M = 1234.42 \cong 1235kN \cdot m. \end{cases}$

$$N_f = 517.12kN + \overbrace{714.42kN}^{Greutate\_fundatie} = 1232kN;$$

$M_f = 1235kN \cdot m + 85kN \cdot 3m = 1490kN \cdot m.$

$A_f = 2.6m \cdot 4.2m = 10.92m^2;$

$$W_f = \frac{2.6m \cdot (4.2m)^2}{6} = 7.64m^3;$$

$$p_1 = \frac{N_f}{A_f} + \frac{M_f}{W_f} = \frac{1232kN}{10.92m^2} + \frac{1490kN \cdot m}{7.64m^3} = 307.85kN/m^2 = 3.08daN/cm^2;$$

$$p_2 = \frac{N_f}{A_f} - \frac{M_f}{W_f} = \frac{1232kN}{10.92m^2} - \frac{1490kN \cdot m}{7.64m^3} = -0.82daN/cm^2;$$

$p_2 < 0 \Rightarrow$ Este necesar un calcul de zonă activă.

$$\left.\begin{array}{l} N_f = 1232kN \\ M_f = 1490kN \cdot m \end{array}\right\} \Rightarrow e = \frac{1490kN \cdot m}{1232kN} = 1.21m;$$

$e' = 2.1m - 1.21m = 0.89m;$

$c = 3 \cdot e' = 2.67m;$

Verificarea întinderii zonei active:

- pentru grupări speciale de încărcări $c = 2.67m > 0.5 \cdot 4.2m = 2.1m.$

$$p_{max} = \frac{2 \cdot N_f}{c \cdot 2.6m} = \frac{2 \cdot 1232kN}{2.67m \cdot 2.6m} = 3.55daN/cm^2;$$

$p_{max} = 3.55daN/cm^2 < 1.4 \cdot p_{conv} = 4.2daN/cm^2 \Rightarrow$ dimensiunile tălpii fundației corespund.

5. CALCUL PORTAL

5.1 AMPLASARE

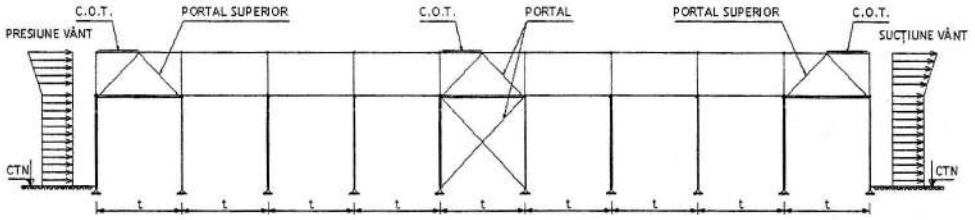


Fig.5.1. Amplasare portal

Observație: Pentru a nu împiedica dezvoltarea deformațiilor generate de variații de temperatură, portalul (pe întreaga înălțime a stâlpilor) se amplasează în zona centrală a construcției.

5.2 ACȚIUNI LUATE ÎN CONSIDERARE ÎN CALCUL

Portalul se va dimensiona în gruparea fundamentală de încărcări considerând încărcările orizontale care acționează în lungul halei.

5.2.1. FRÂNAREA – DEMARAREA PODURILOR RULANTE

$L = L_1 + L_2; L_1 = n_s \cdot n_i \cdot L_1^n; L_2 = n_s \cdot n_i \cdot L_2^n$

unde: n_s = coeficient de simultaneitate = 0.95

n_i = coeficient parțial de siguranță =1.3

$L_1 = 0.95 \cdot 1.3 \cdot 30.4kN = 37.544kN;$

$L_2 = 0.95 \cdot 1.3 \cdot 16.8kN = 20.748kN;$

$L = L_1 + L_2 = 58.30kN.$

5.2.2. ACȚIUNEA VÂNTULUI ÎN LUNGUL HALEI

- Presiune vânt pe un perete de fronton (W_1; W_2)
- Sucțiune vânt pe celălalt perete de fronton (W'_1; W'_2)

  $\Rightarrow P_v^{\perp} = \beta \cdot c_{ni} \cdot c_{h(z)} \cdot g_v \cdot \gamma_F$
- Antrenare (frecare) vânt in lungul pereților laterali (F_1; F_2)
- Antrenare vânt în lungul acoperișului (F_a)

  $\Rightarrow P_v^{\parallel} = \beta \cdot c_f \cdot c_{h(h_{med})} \cdot g_v \cdot \gamma_F$

unde:

$\gamma_F = 1.2$ (coeficient parțial de siguranță, ce înmulțește valorile normate a încărcărilor date de acțiunea vântului pentru verificări de S.L.U. sub acțiuni din gruparea fundamentală)

$\beta = 1.6$ (coeficient de rafală);

$c_f = 0.025$ (coeficient de frecare);

$g_v = 0.55\frac{kN}{m^2}$ (presiunea dinamică de bază a vântului stabilită la înălțimea de $10m$ deasupra cotei terenului natural);

c_{ni} = coeficient aerodinamic al suprafeței = 0.8 (pentru presiune) și 0.6 (pentru sucțiune);

$c_{h(z)}; c_{h(h_{med})}$ = coeficienți de variație a presiunii dinamice de bază în raport cu înălțimea;

$$c_{h(z)} = 0.65 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0.44} \geq 0.65;$$

$$c_{h(h_{med})} = 0.65 \cdot \left(\frac{h_{med}}{10}\right)^{0.44} \geq 0.65;$$

z = înălțimea deasupra cotei terenului natural;

h_{med} = înălțimea medie deasupra cotei terenului natural a suprafeței pentru care se calculează frecarea vântului.

Observație:

z și h_{med} se exprimă în metri.

Acțiunea vântului perpendicular pe pereții de fronton:

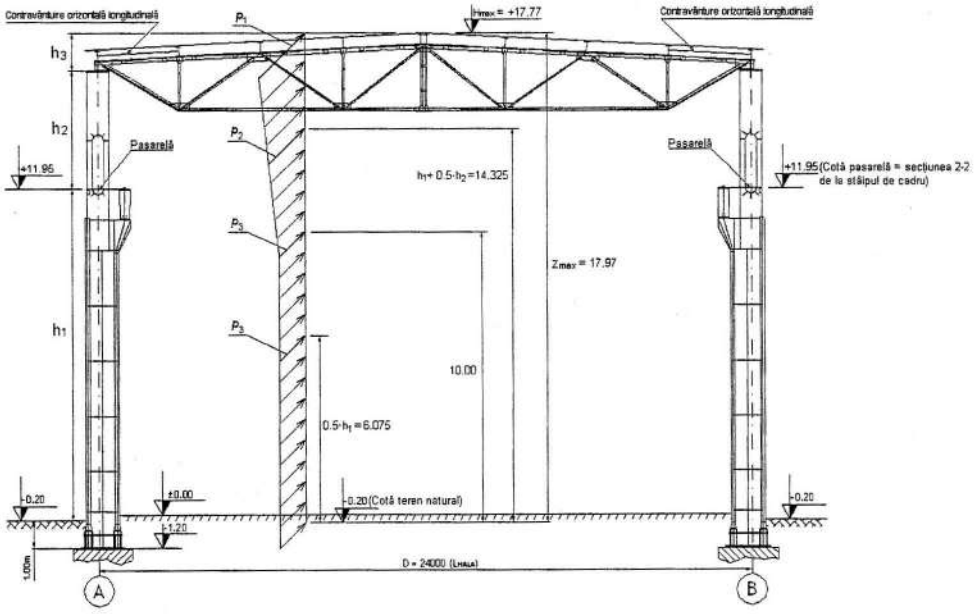


Fig. 5.2. Evaluarea presiunii (sucțiunii) vântului pe peretele de fronton

Observație:

Legăturile ale stâlpilor de închidere de pe pereții de fronton sunt la nivelul contravântuirii orizontale transversale din planul acoperișului, la nivelul pasarelei de circulație și la nivelul fundației stâlpilor de închidere. La halele fără poduri rulante și în anumite situații la halele cu poduri rulante nu se prevăd pasarele în frontoane.

$$h_1 = l_i - 1.2m + 0.2m + h_{gr.reazem} = 12m - 1.2m + 0.2m + 1.15m = 12.15m;$$

$$h_2 = l_s - h_{gr.reazem} = 5.5m - 1.15m = 4.35m;$$

$$h_3 = z_{max} - h_1 - h_2 = 1.47m;$$

l_i = înălțimea tronsonului inferior de stâlp; $l_i = 12m$;

l_s = înălțimea tronsonului inferior de stâlp; $l_s = 5.5m$;

$P_{v1}^{\perp} = \gamma_F \cdot \beta \cdot c_{ni} \cdot c_{h(z_{max})} \cdot g_v$;

$$c_{h(z_{max10})} = 0.65 \cdot \left(\frac{z_{max}}{10}\right)^{0.44} = 0.84 > 0.65;$$

$$p_{v1}^{\perp} = 1.2 \cdot 1.6 \cdot 0.8 \cdot 0.84 \cdot 0.55 = 0.71 \frac{kN}{m^2};$$

$P_{v2}^{\perp} = \gamma_F \cdot \beta \cdot c_{ni} \cdot c_h(h_1 + 0.5h_2) \cdot g_v$;

$$c_{h(h_1+0.5h_2)} = 0.65 \cdot \left(\frac{12.15m + 0.5 \cdot 4.35m}{10m}\right)^{0.44} = 0.761;$$

$$P_{v2}^{\perp} = 1.2 \cdot 1.6 \cdot 0.8 \cdot 0.761 \cdot 0.55 \frac{kN}{m^2} = 0.65 \frac{kN}{m^2};$$

$p_{v3}^{\perp} = \gamma_F \cdot \beta \cdot c_{ni} \cdot c_h(10m) \cdot g_v$;

$$c_h(10m) = 0.65\left(\frac{10m}{10}\right)^{0.44} = 0.65;$$

$$P_{v3}^{\perp} = 1.2 \cdot 1.6 \cdot 0.8 \cdot 0.65 \cdot 0.55 = 0.55 \frac{kN}{m^2};$$

$W_1 = \frac{D + 2m}{2} \cdot A_1$; unde A_1 reprezintă aria suprafeței din figura următoare:

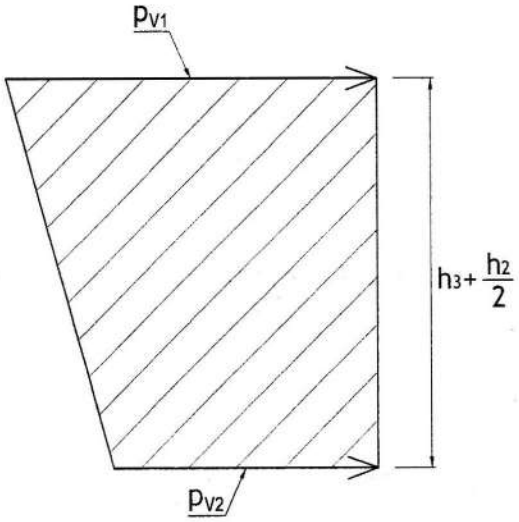


Fig. 5.3. Prismul de presiuni aferent reacțiunii W_1

$$A_1 = \frac{\left(0.71\frac{kN}{m^2} + 0.65\frac{kN}{m^2}\right)}{2} \cdot (1.47m + 0.5 \cdot 4.35m) = 2.48 \frac{kN}{m^2};$$

$$W_1 = \frac{24m + 2m}{2} \cdot 2.48 \frac{kN}{m} = 32.23kN;$$

$W_2 = \frac{D+2m}{2} \cdot A_2$; unde A_2 reprezintă aria suprafeței din figura 5.4.

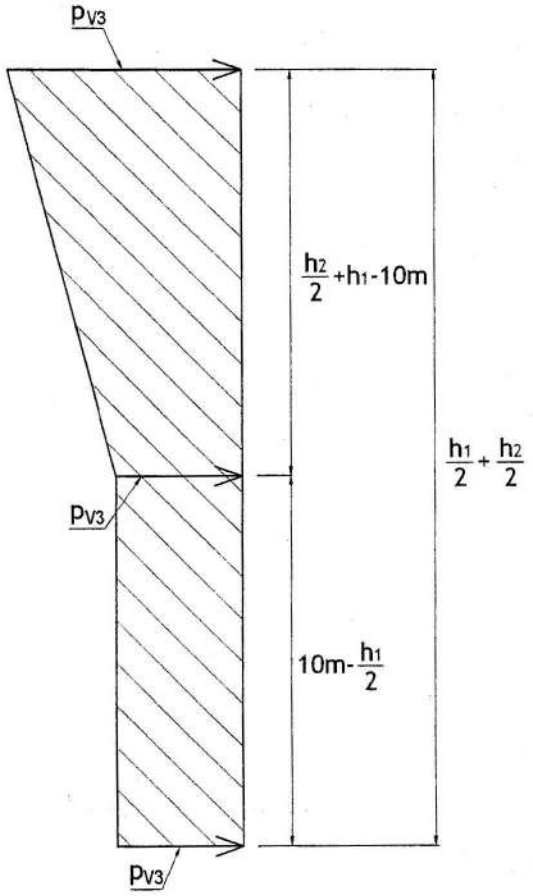


Fig. 5.4. Prismul de presiuni aferent reacțiunii W_2

$$\frac{h_2}{2} + h_1 - 10m = \frac{4.35}{2} + 12.15 - 10 = 4.325m;$$

$$10m - \frac{h_1}{2} = 10 - \frac{12.15}{2} = 3.925m;$$

$$A_2 = \frac{\left(0.65\frac{kN}{m^2} + 0.55\frac{kN}{m^2}\right)}{2} \cdot 4.325m + 0.55\frac{kN}{m^2} \cdot 3.925m = 4.75\frac{kN}{m};$$

$$W_2 = \frac{D+2m}{2} \cdot A_2 = \frac{24m+2}{2} \cdot 4.75 = 61.80kN;$$

$$W_1^{'} = \frac{c_{ni}(suctiune)}{c_{ni}(presiune)} \cdot W_1 = \frac{0.6}{0.8} \cdot W_1 = 0.75 \cdot W_1 = 0.75 \cdot 32.23kN = 24.17kN;$$

$$W_2^{'} = 0.75W_2 = 0.75 \cdot 61.80kN = 46.35kN;$$

Frecarea vântului în lungul pereților laterali de închidere:

În cazul pereților laterali legăturile orizontale ale stâlpilor de închidere sunt la nivelul contravântuirii orizontale longitudinale a acoperișului, la nivelul contravântuirii orizontale a grinzii căii de rulare și de la nivelul fundațiilor stâlpilor de închidere.

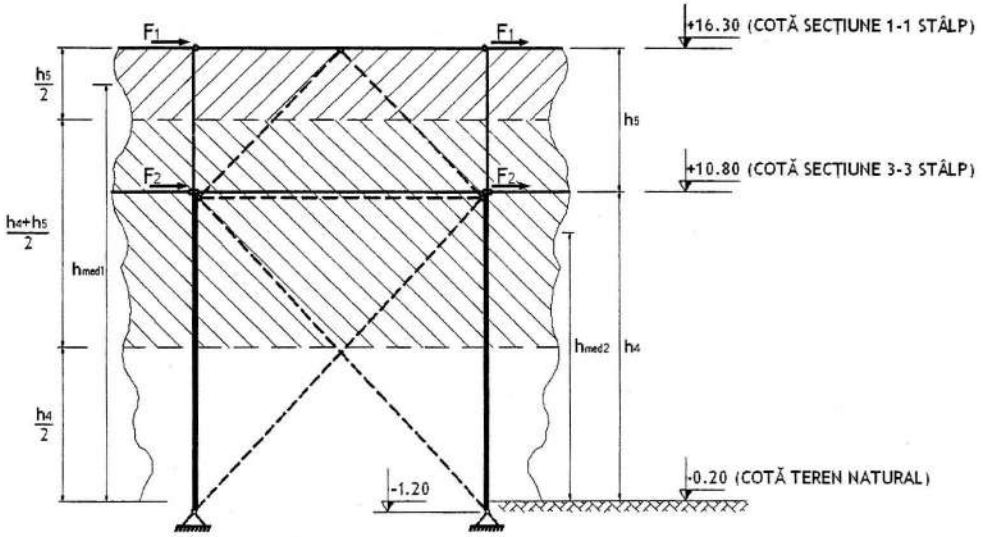


Fig. 5.5. Semnificația cotelor h_{med1} și h_{med2}

$h_4 = l_i - 1.20m + 0.20m = 12.0m - 1.20m + 0.2m = 11.00m;$

$h_5 = l_s = 5.5m;$

Se notează cu h_{med1} înălțimea medie a suprafeței de perete haşurate ascendent în figura 5.5.

$$h_{med1} = \frac{1}{2}\left[\left(h_4 + h_5\right) + \left(h_4 + \frac{h_5}{2}\right)\right] = \frac{1}{2}\left[\left(11 + 5.5\right) + \left(11 + \frac{5.5}{2}\right)\right] = 15.125m;$$

Se notează cu h_{med2} înălțimea medie a suprafeței de perete haşurate descendent în figura 5.5.

$$h_{med2} = \frac{1}{2}\left[\left(h_4 + \frac{h_5}{2}\right) + \left(\frac{h_4}{2}\right)\right] = \frac{1}{2}\left[\left(11 + \frac{5.5}{2}\right) + \left(\frac{11}{2}\right)\right] = 9.625m.$$

$$c_h\left(h_{med1}\right) = 0.65 \cdot \left(\frac{h_{med1}}{10}\right)^{0.44} = 0.65\left(\frac{15.125}{10}\right)^{0.44} = 0.780;$$

$$c_h\left(h_{med2}\right) = 0.65 \cdot \left(\frac{h_{med2}}{10}\right)^{0.44} = 0.65 \cdot \left(\frac{9.625}{10}\right)^{0.44} = 0.639 < 0.65 \Rightarrow c_h\left(h_{med2}\right) = 0.65;$$

$$p_{f1} = \gamma_f \cdot \beta \cdot c_f \cdot c_h\left(h_{med1}\right) \cdot g_v = 1.2 \cdot 1.6 \cdot 0.025 \cdot 0.780 \cdot 0.55 \frac{kN}{m_2} = 0.0206 \frac{kN}{m^2};$$

$$p_{f2} = \gamma_f \cdot \beta \cdot c_f \cdot c_h\left(h_{med2}\right) \cdot g_v = 1.2 \cdot 1.6 \cdot 0.025 \cdot 0.650 \cdot 0.55 \frac{kN}{m^2} = 0.0172 \frac{kN}{m^2};$$

$$F_1 = p_{f1} \cdot \frac{9t}{2} \cdot \frac{h_5}{2} = 0.0206 \frac{kN}{m^2} \cdot \frac{9 \cdot 11m}{2} \cdot \frac{5.5}{2} = 2.81kN;$$

$$F_2 = p_{f1} \cdot \frac{9t}{2} \cdot \frac{h_5 + h_4}{2} = 0.0172 \frac{kN}{m^2} \cdot \frac{9 \cdot 11m}{2} \cdot \frac{5.5m + 11.0m}{2} = 7.03kN;$$

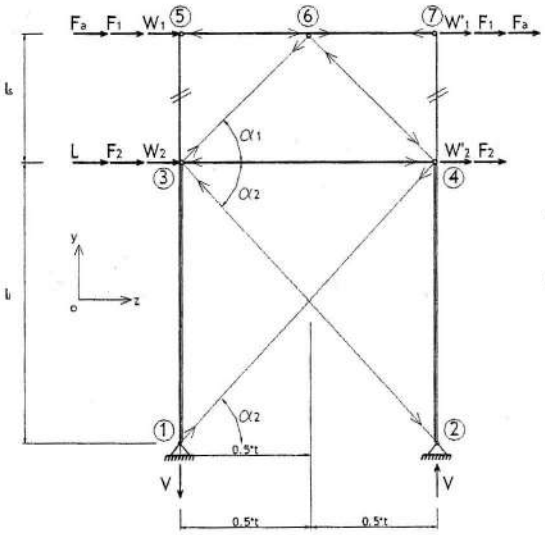
Frecarea vântului în lungul acoperişului:

$$p_{f3} = \gamma_f \cdot \beta \cdot c_f \cdot c_h \cdot (h_{med} = z_{\max}) \cdot g_v = 1.2 \cdot 1.6 \cdot 0.025 \cdot 0.841 \cdot 0.55 \frac{kN}{m^2} = 0.0222 \frac{kN}{m^2};$$

$$c_h(h_{med} = z_{\max}) = 0.65 \cdot \left(\frac{17.97}{10}\right)^{0.44} = 0.841;$$

$$F_a = p_{f3} \cdot \frac{9 \cdot t}{2} \cdot \frac{D + 2m}{2} = 0.0222 \frac{kN}{m^2} \cdot \frac{9 \cdot 11}{2} \cdot \frac{24m + 2m}{2} = 14.29kN;$$

5.2.3. STABILIREA EFORTURILOR ÎN BARELE PORTALULUI ÎN GRUPAREA FUNDAMENTALĂ DE ÎNCĂRCĂRI



$$\alpha_1 = arctg \frac{l_s}{0.5 \cdot t} = arctg \frac{5.5}{0.5 \cdot 11} = 45^\circ;$$

$$\alpha_2 = arctg \frac{l_i}{t} = arctg \frac{12}{11} = 47.49^\circ$$

Fig.5.6. Schemă de încărcare în gruparea fundamentală

Starea de efort din barele portalului s-a obţinut cu ajutorul unui program de calcul automat.

N_{56}=49.33kN; N_{36}=N_{46}=64.064kN; N_{14}=195.186kN;
N_{67}=41.27kN; N_{34}=33.212kN; N_{23}=206.013kN;

5.2.4. EVALUAREA ACŢIUNII SEISMICE ÎN LUNGUL HALEI

$$S_{tot} = G_{tot} \cdot c;$$

$$c = \alpha \cdot \beta \cdot \varepsilon \cdot \psi \cdot k_s = 1.0 \cdot 2.5 \cdot 1.0 \cdot 0.40 \cdot 0.16 = 0.16;$$

- α - coeficientul de importanţă al construcţiei;
  Constucţia analizată se încadrează în clasa III de importanţă (construcţii de importanţă obişnuită) $\Rightarrow$ $\alpha = 1.0$;

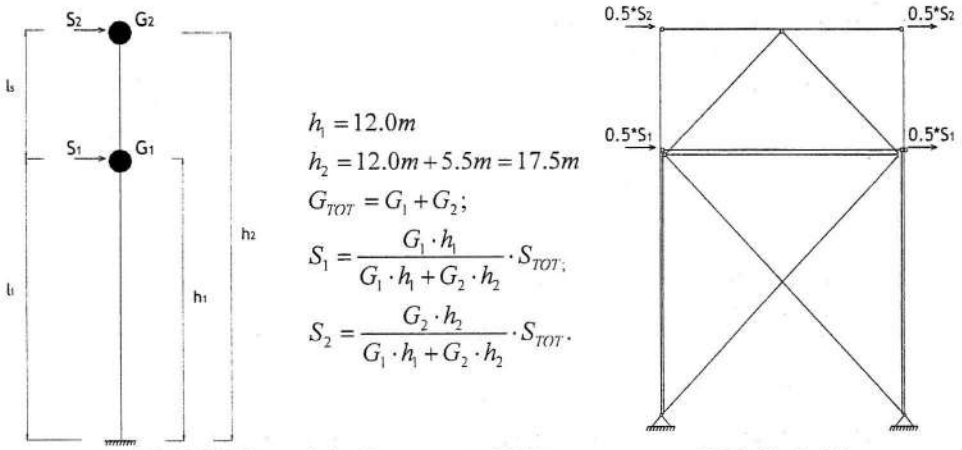
- β - coeficient de amplificare dinamică, corespunzător modului de vibrație, funcție de compoziția spectrală a mișcării seismice pe amplasament;
  Perioada fundamentală de vibrație a construcției analizate este mai redusă decât perioada de colț corespunzătoare amplasamentului ($T_C = 1.0s$) $\Rightarrow \beta = 2.5$;

- ψ - coeficient de reducere a efectelor acțiunii seismice ținând seama de ductilitatea structurii, de capacitatea de redistribuiție a eforturilor, de ponderea cu care intervin rezervele de rezistență neconsiderate în calcul, precum și de efectele de amortizare a vibrațiilor, altele decât cele asociate structurii de rezistență; $\Psi = 0.40$;

- ε - coeficient de echivalență între comportarea structurii reale și comportarea unui pendul (a unui sistem cu un grad de libertate dinamică); $\varepsilon \cong 1.0$;

- k_s - coeficient funcție de zona seismică în care e amplasată clădirea. Amplasamentul construcției este localitatea Roman din județul Neamț. $\Rightarrow k_s = 0.16$.

Observație:
În mod acoperitor pentru coeficientul ψ se ia valoarea 0.4, ce corespunde halelor industriale parter prevăzute cu portale cu diagonale prinse centric la noduri în sistem „V răsturnat".



$$h_1 = 12.0m$$
$$h_2 = 12.0m + 5.5m = 17.5m$$
$$G_{TOT} = G_1 + G_2;$$
$$S_1 = \frac{G_1 \cdot h_1}{G_1 \cdot h_1 + G_2 \cdot h_2} \cdot S_{TOT};$$
$$S_2 = \frac{G_2 \cdot h_2}{G_1 \cdot h_1 + G_2 \cdot h_2} \cdot S_{TOT}.$$

Fig.5.7. Schema de încărcare a portalului în gruparea specială de încărcări

- Evaluarea greutății G_1

G_1 este suma încărcărilor gravitaționale din gruparea specială de încărcări de la nivelul grinzii de rulare;

- greutate pod rulant de $20tf$ neîncărcat: $192kN$

$P_1^n + P_2^n + P_3^n + P_4^n - Q = 14.0 + 3.6 + 16.8 + 4.8 - 20 = 19.2tf = 192kN$;

- greutate pod rulant de $40tf$ neîncărcat: $299kN$

$P_1^n + P_2^n + P_3^n + P_4^n - Q = 26.2 + 6.0 + 30.4 + 7.3 - 40 = 29.9tf = 299kN$;

- alte încărcări gravitaționale de la nivelul grinzii de rulare : $907kN$

Încărcare	Valori de calcul gruparea specială $[kN/m]$
Greutate proprie grindă de rulare	1.5
Greutate proprie şină + prinderi	0.8
Greutate proprie grindă de frânare	0.4
Greutate proprie contravântuire orizontală	0.3
Greutate proprie balustradă	0.1
Spaţiu tehnic	1.0
Circulaţie pasarelă	$n_i^d \cdot 0.8\frac{kN}{m} = 0.6 \cdot 0.8 = 0.48$
	$\Sigma = 4.58\frac{kN}{m}$

n_i^d - coeficient parţial de siguranţă ce introduce efectul de lungă durată

$$4.58\frac{kN}{m} \cdot 2 \cdot 9t = 4.58\frac{kN}{m} \cdot 2 \cdot 9 \cdot 11m = 907kN$$

- greutate pereţi de închidere (laterali şi de fronton):

$$0.50\frac{kN}{m} \cdot \frac{l_i + l_s}{2} \cdot 2 \cdot [(D + 2m) + 9 \cdot t] = 0.50\frac{kN}{m^2} \cdot \frac{12 + 5.5m}{2} \cdot 2 \cdot [(24 + 2) + 9 \cdot 11]m = 1094kN;$$

$$G_1 = 192kN + 299kN + 907kN + 1094kN = 2492kN;$$

- evaluare greutate G_2:

G_2 este suma încărcărilor gravitaţionale din gruparea specială de încărcări de la nivelul acoperişului.

- greutate pereţi de închidere (laterali şi de fronton): $344kN$

$$0.50\frac{kN}{m} \cdot \frac{l_s}{2} \cdot 2 \cdot [(D + 2m) + 9 \cdot t] = 0.50\frac{kN}{m^2} \cdot \frac{5.5m}{2} \cdot 2 \cdot [(24 + 2) + 9 \cdot 11] = 344kN;$$

- greutate elemente acoperiş: $4196kN$

Încărcare	Valori de calcul grupare specială $[kN/m^2]$
Greutate proprie învelitoare	0.50
Greutate proprie pane +contravântuiri	0.20
Spaţiu tehnic	0.20
Praf industrial	0.25
Zăpadă	$p_z^e = \gamma^e \cdot p_z^n = 0.36$
Greutate proprie fermă	0.12
	$\Sigma = 1.63\frac{kN}{m^2}$

$$1.63\frac{kN}{m^2} \cdot 9 \cdot t \cdot (D + 2) = 1.63\frac{kN}{m^2} \cdot 9 \cdot 11m \cdot (24 + 2)m = 4196kN;$$

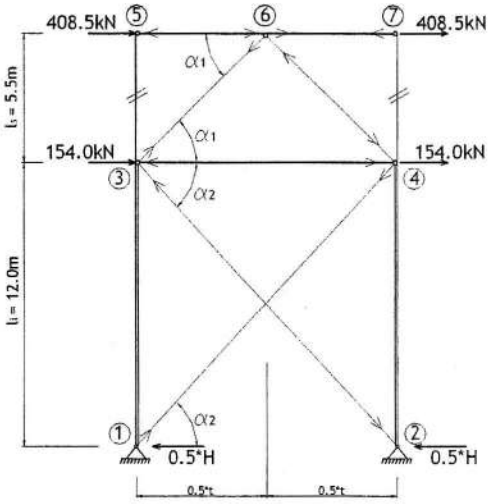
$$G_2 = 344kN + 4196kN = 4540kN;$$

$$G_{TOT} = G_1 + G_2 = 2492kN + 4540kN = 7032kN;$$
$$S_{TOT} = c \cdot G_{TOT} = 0.16 \cdot 7032kN = 1125kN;$$

$$G_1 \cdot h_1 + G_2 \cdot h_2 = 2492kN \cdot 12m + 4540kN \cdot 17.5m = 109354kN \cdot m;$$

$$S_1 = \frac{G_1 \cdot h_1}{G_1 \cdot h_1 + G_2 \cdot h_2} \cdot S_{TOT} = \frac{2492kN \cdot 12.0m}{109354kN \cdot m} \cdot 1125kN = 308kN;$$
$$S_2 = \frac{G_2 \cdot h_2}{G_1 \cdot h_1 + G_2 \cdot h_2} \cdot S_{TOT} = \frac{4540kN \cdot 17.5m}{109354kN \cdot m} \cdot 1125kN = 817kN;$$

5.2.5. DETERMINAREA EFORTURILOR ÎN BARELE PORTALULUI ÎN GRUPAREA SPECIALĂ DE ÎNCĂRCĂRI



$$H = 2 \cdot 154.0kN + 2 \cdot 408.5kN = 1125kN;$$
$$N_{56} = N_{67} = 408.5kN;$$
$$N_{36} = N_{46} = \frac{2 \cdot 408.5kN}{2 \cdot \cos\alpha_1} = \frac{2 \cdot 408.5kN}{2 \cdot \cos 45°} = 577.80kN;$$
$$N_{14} = N_{23} = \frac{0.5H}{\cos\alpha_2} = \frac{0.5 \cdot 1125kN}{\cos 47.49°} = 832.45kN;$$
$$\left(\sum x_3\right) = 0 \Rightarrow$$
$$\Rightarrow 154kN + N_{34} + N_{36} \cdot \cos\alpha_1 - N_{23} \cdot \cos\alpha_2 = 0;$$
$$\Leftrightarrow 154kN + N_{34} + 288.85kN \cdot \cos 45° -$$
$$832kN \cdot \cos 47.49° = 0; \Rightarrow N_{34} = 204.52kN.$$

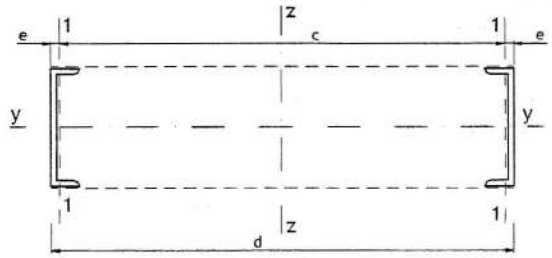
Fig.5.8. Calculul eforturilor în barele portalului în gruparea specială de încărcări

5.3. ALCĂTUIRE ELEMENTE PORTAL:

Elementele portalului se vor realiza din două profile „U" mult depărtate, solidarizate cu zăbreluțe.

Notații: E_1 = bara 5 - 6 - 7; E_2 = barele 3 - 6 și 4 - 6; E_3 = bara 3 - 4; E_4 = barele 1 - 4 și 2 - 3.

Distanțele d dintre fețele exterioare ale profilelor „U" sunt egale cu înălțimea inimii tronsonului de stâlp în dreptul căruia sunt plasate elementele portalului.



$$c = d - 2 \cdot e$$
c = distanța dintre centrele de greutate ale profilelor „U";
$$d = \begin{cases} 800mm \rightarrow E_1; E_2; \\ 1100mm \rightarrow E_3; E_4 \end{cases}$$

Fig. 5.9. Alcătuirea secțiunii barelor ce compun portalul

5.4. DIMENSIONAREA ELEMENTELOR PORTALULUI

Se vor dimensiona barele comprimate ale portalului.

5.4.1. ETAPE DE CALCUL

A. Alegerea profilelor:

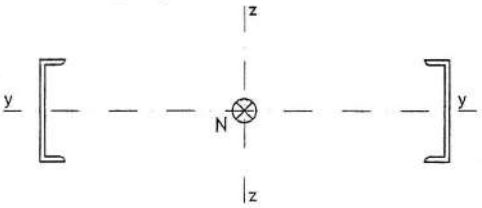
1^0 Se stabilesc lungimile de flambaj pentru elementul ce urmează a fi dimensionat;

2^0 Se propune un profil „U" pentru elementul de portal dimensionat $A = 2 \cdot A_{1U}$

unde: A = aria secțiunii transversale a barei (elementului) de portal

A_{1U} = aria unui profil „U"

3^0 Se stabilește raza de inerție a secțiunii transversale în raport cu axa y - y:



$$i_y = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{2 \cdot I_y^{1U}}{2 \cdot A_{1U}}} = i_y^{1U};$$

I_y = momentul de inerție al secțiunii transversale în raport cu axa y - y; $I_y = 2 \cdot I_y^{1U}$;

I_y^{1U} = momentul de inerție al unui profil „U" în raport cu axa y - y;

i_y^{1U} = raza de inerție a unui profil „U" în raport cu axa y - y;

4^0 Verificare de zvelteţe $\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y} \le \lambda_a = 150$. Dacă nu se îndeplineşte condiția se revine la punctul 2^0 şi se alege un profil „U" mai mare;

5^0 Se stabilește coeficientul de flambaj φ_y; $\lambda_y \xrightarrow{B\_OL37} \varphi_y$;

6^0 Verificare de stabilitate generală în raport cu axa y - y;

$$\frac{N}{\varphi_y \cdot A} \le R$$

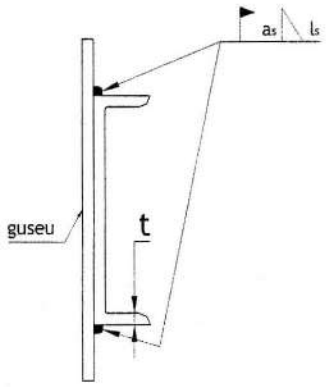
Dacă nu se respectă condiția se revine la punctul 2^0 şi se propune un profil „U" mai mare.

unde:

N = efortul axial din bară (se va alege efortul axial de compresiune maxim înregistrat în bară în gruparea fundamentală sau în gruparea specială de încărcări);

Observații:

- Se va alege profilul „U" cel mai mic ce satisface relațiile de verificare de zvelteţe şi stabilitate generală de la punctele 4^0 şi respectiv 6^0.
- Nu prezintă interes verificarea elementelor portalului în raport cu axa z - z datorită faptului că momentul de inerție al secțiunii transversale în raport cu axa z - z este mult mai mare decât în raport cu axa y - y .



B. Dimensionarea prinderii cu sudură a barelor portalului:

7^0 Se stabilește efortul de dimensionare N_s a prinderii cu sudură:

$$N_S = 1.2 \cdot N_{cap} = 1.2 \cdot \varphi_y \cdot A \cdot R;$$

$N_{cap} = \varphi_y \cdot A \cdot R =$ efortul capabil la compresiune a barei pentru care se dimensionează prinderea ;

8^0 Se propune grosimea de calcul a cordoanelor de sudură în relief a_s:

$a_s \in \{4; 4^5; 5; 5^5; 6; 7\}$

Observație:

De regulă grosimea guseului t_g se alege egală cu grosimea tălpii secțiunii tronsonului de stâlp de care se prinde elementul portalului.

$t_g \in \{8; 9; 10; 12\}$

9^0 Se stabilește lungimea cordoanelor de sudură l_s:

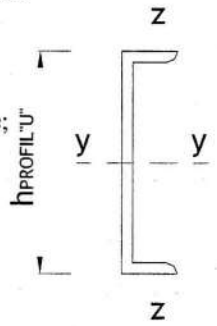
$l_s^{nec} = \dfrac{N_s}{4 \cdot a_s \cdot R_f^{\,s}} + 2 \cdot a_s$; l_s^{nec} se rotunjește superior la multiplu de 10 mm.

unde:

$R_f^{\,s}$ = rezistența de calcul la forfecare a sudurii în relief; $R_f^{\,s} = 0.7 \cdot R$;

R = rezistența de calcul a oțelului din care sunt realizate piesele sudate;

Pentru $OL37 \rightarrow R_s^{\,f} = 0.7 \cdot R \cong 150 \dfrac{N}{mm^2}$;



10^0 Se verifică condițiile constructive :

$15 \cdot a_s \le l_s \le 60 \cdot a_s$;

$l_s \ge h_{PROFIL-U}$;

C. DIMENSIONAREA ELEMENTELOR DE SOLIDARIZARE (ZĂBRELUȚE):

11^0 Se calculează forța tăietoare convențională: $T_c = 0.012 \cdot A \cdot R$;

unde : $A = 2 \cdot A_{1U}$

A = aria secțiunii transversale a elementelor solidarizate (a celor două profile U);

12^0 Se alege distanța $l_1 \le 40 \cdot i_1$, astfel încât l_1 să rezulte multiplu de 10(5) mm;

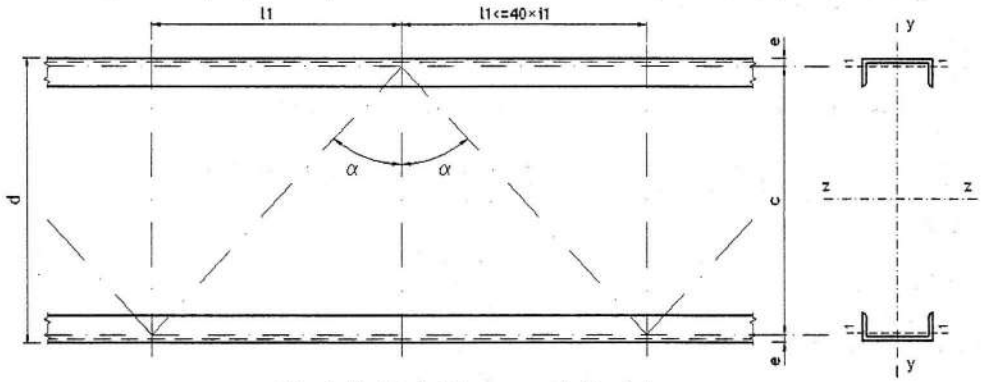


Fig. 5.10. Modul de așezare al zăbrelelor

$i_1 = i_z^{\,1U}$;

13^0 Se calculează: $\alpha = arctg \dfrac{l_1}{c} \rightarrow c = d - 2 \cdot e$

l_1 se alege astfel încât : $30° \le \alpha \le 60°$

14^0 Se calculează coeficientul de zvelteţe al unei ramuri: $\lambda_1 = \frac{l_1}{i_z^{1U}}$;

15^0 Se determină coeficientul de flambaj minim al ramurii φ_r : $\lambda_1 \xrightarrow{C\_OL37} \varphi_r$;

16^0 Se verifică dacă: $\varphi_r \geq \varphi_{min} = \varphi_y$;

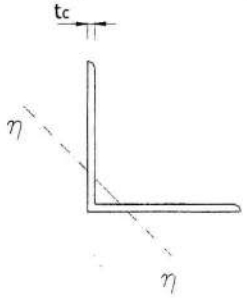
unde: φ_{min} = coeficientul de flambaj minim al întregii bare;

Dacă inegalitatea $\varphi_r \geq \varphi_y$ nu este satisfăcută se revine la punctul 13^0 şi se propune o valoare mai mică pentru distanţa l_1.

17^0 Se calculează efortul dintr-o diagonală: $D = \frac{T_c}{2 \cdot \cos\alpha}$

18^0 Se determină lungimea interax a diagonalei l_d : $l_d = \sqrt{l_1^2 + c^2}$;

19^0 Se alege un cornier cu grosimea $t_c \geq 4mm$;



Cornier	$A_{CORNIER}\,[mm^2]$	$i_\eta\,[mm]$
30×30×4	227	5.8
40×40×4	308	7.8
45×45×4	349	8.8
50×50×4	389	9.8
50×50×5	480	9.8

20^0 Se stabileşte coeficientul de flambaj φ_d : $\lambda_d = \frac{l_d}{i_\eta} \xrightarrow{C\_OL37} \varphi_d$;

21^0 Verificare de stabilitate zăbreluţă: $\frac{D}{\varphi_d \cdot A_{CORNIER}} \leq m \cdot R$;

$m = 0.75$;

m = coeficient al condiţiilor de lucru.

Dacă nu se revine la punctul 19^0 şi se alege un cornier mai mare.

5.4.2. DIMENSIONAREA ELEMENTULUI E_1 (bara 5-6-7):

$N_1 = N_{56} = 408.5kN$ (grupare specială de încărcări)

A. Alegerea profilelor „U" :

1^0 $\begin{cases} l_{fy} = 0.5 \cdot t = 0.5 \cdot 11.0m = 5.5m; \\ l_{fz} = t = 11.0m; \end{cases}$

2^0 Se propun profile „U10" $\Rightarrow A_{1U} = 1350mm$

$A = 2 \cdot A_{1U} = 2 \cdot 1350mm^2 = 2700mm^2$;

3^0 $i_y = i_y^{1U} = 39.1mm$;

4^0 $\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y} = \frac{5500mm}{39.1} = 140.66 < \lambda_a = 150$;

5^0 $\lambda_y \cong 141 \xrightarrow{B} l_y = 0.336$;

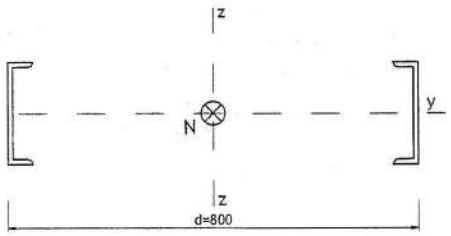


Fig. 5.11. Alcătuire element E_1

$6^0\ \dfrac{N_1}{\varphi_y \cdot A} = \dfrac{408.5 \cdot 10^3 N}{0.336 \cdot 2700 mm^2} = 450.29 \dfrac{N}{mm^2} > R = 220 \dfrac{N}{mm^2}$;

Nu se verifică, prin urmare se revine la punctul 2^0;

2^0 Se propun profile „U14" $\Rightarrow A_{1U} = 2040 mm^2$

$A = 2 \cdot A_{1U} = 2 \cdot 2040 mm^2 = 4080 mm^2$;

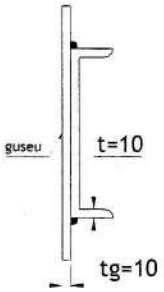
$3^0\ i_y = i_y^{1U} = 54.5 mm$;

$4^0\ \lambda_y = \dfrac{l_{fy}}{i_y} = \dfrac{5500 mm}{54.5 mm} = 100.92 < \lambda_a = 150$;

$5^0\ \lambda_y \cong 101 \xrightarrow{B} \varphi_y = 0.546$;

$6^0\ \dfrac{N_1}{\varphi_y \cdot a} = \dfrac{408.5 \cdot 10^3 N}{0.546 \cdot 4080 mm^2} \cong 183.38 \dfrac{N}{mm^2} < R = 220 \dfrac{N}{mm^2}$

Prin urmare, pentru elementul $\boldsymbol{E_1}$ se vor folosi profile **„U14"**.



B. Dimensionarea prinderii cu sudură:

$7^0\ N_s = 1.2 \cdot \varphi_y \cdot A \cdot R = 0.491 \cdot 4080 mm^2 \cdot 220 \dfrac{N}{mm^2} = 528.87 kN$;

8^0 Se alege $t_g = 10 mm$; se propune $a_s = 6 mm$;

$a_s = 6 mm < \min\{0.7 t_g; 0.85 t\} = \min\{7; 8.5\} = 7 mm$

$9^0\ l_s^{nec} = \dfrac{N_s}{4 \cdot a_s \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_s = \dfrac{528.87 \cdot 10^3 N}{4 \cdot 6 \cdot 150 \dfrac{N}{mm^2}} + 2 \cdot 6 mm = 158.9 mm \Rightarrow$ Se alege $l_s = 160 mm$

$10^0\ 15 \cdot a_s \le l_s \le 60 \cdot a_s \Leftrightarrow 15 \cdot 6 = 90 mm < l_s = 160 mm < 60 \cdot 6 = 360 mm$

$l_s = 160 mm > h_{PROFIL-U} = 140 mm \Rightarrow$ sunt respectate condițiile constructive .

C. Dimensionarea elementelor de solidarizare:

$11^0\ T_c = 0.012 \cdot A \cdot R = 0.012 \cdot 4080 mm^2 \cdot 220 N / mm^2 = 10722 N$;

$12^0\ i_1 = i_z^{1U} = 17.5 mm$;

Se alege $l_1 = 700 mm = 40 \cdot i_1 = 700 mm$;

$13^0\ c = d - 2 \cdot e = 800 mm - 2 \cdot 17.5 mm = 765 mm$;

Se folosesc profile U14 $\Rightarrow e = 17.5 mm$.

$\alpha = arctg \dfrac{l_1}{c} = arctg \dfrac{700 mm}{765 mm} \cong 42.46^\circ \Rightarrow 30^\circ < \alpha = 42.46^\circ < 60^\circ$;

$14^0\ \lambda_1 = \dfrac{l_1}{i_z^{1U}} = \dfrac{700 mm}{17.5 mm} = 40$;

15^0 Se determină coeficientul de flambaj minim al ramurii φ_r :

$\lambda_1 = 40 \xrightarrow{C\_OL37} \varphi_r = 0.881$;

$16^0\ \varphi_r = 0.881 \ge \varphi_{\min} = \varphi_y = 0.546$;

$\Rightarrow$ Prin urmare flambajul ramurii nu se produce înaintea flambajului barei.

$17^0\ D = \dfrac{T_c}{2\cdot\cos\alpha} = \dfrac{10772N}{2\cdot\cos 42.46^\circ} = 7300N;$

$18^0\ l_d = \sqrt{l_1^{\,2} + c^2} = \sqrt{(700)^2 + (765)^2} = 1037mm;$

19^0 Se propun corniere 30×30×4 pentru zăbreluțele elementului E_1.

$A_{CORNIER} = 227mm^2$ şi $i_\eta = 5.8mm;$

$20^0\ \lambda_d = \dfrac{l_d}{i_\eta} = \dfrac{1037mm}{5.8mm} \cong 179 \xrightarrow{C\_OL37} \varphi_d = 0.215;$

$21^0\ \dfrac{D}{\varphi_d \cdot A_{CORNIER}} = \dfrac{7300N}{0.215\cdot 227mm^2} \cong 149.58N/mm^2 < m\cdot R = 0.75\cdot 220 = 165N/mm^2.$

5.4.3. DIMENSIONAREA ELEMENTULUI E_2 (barele 3-6 şi 4-6):

$N_2 = N_{4-6} = 577.80kN$ (gruparea specială de încărcări)

A. Alegerea profilelor „U" :

$1^0\ l_{fy} = l_{fz} = l_{E_2} = \sqrt{(0.5\cdot t)^2 + (l_s)^2} = \sqrt{(0.5\cdot 11.0)^2 + (5.5)^2} = 7.78m;$

2^0 Se propun profilele „U16"$\Rightarrow A_{1U} = 2400mm^2;$

$A = 2\cdot A_{1U} = 2\cdot 2400mm^2 = 4800mm^2;$

$3^0\ i_y = i_y^{\,1U} = 62.1mm;$

$4^0\ \lambda_y = \dfrac{l_{fy}}{i_y} = \dfrac{7780mm}{62.1} = 125.28 < \lambda_a = 150;$

$5^0\ \lambda_y \cong 126 \xrightarrow{B} l_y = 0.401;$

$6^0\ \dfrac{N_2}{\varphi_y \cdot A} = \dfrac{577.80\cdot 10^3 N}{0.401\cdot 4800mm^2} = 300.19\dfrac{N}{mm^2} > R = 220\dfrac{N}{mm^2};$

Prin urmare se revine la punctul 2^0;

2^0 Se propun profile „U18"$\Rightarrow A_{1U} = 2800mm^2$

$A = 2\cdot A_{1U} = 2\cdot 2800mm^2 = 5600mm^2;$

$3^0\ i_y = i_y^{\,1U} = 69.5mm;$

$4^0\ \lambda_y = \dfrac{l_{fy}}{i_y} = \dfrac{7780mm}{69.5mm} = 111.94 < \lambda_a = 150;$

$5^0\ \lambda_y \cong 112 \xrightarrow{B} l_y = 0.477;$

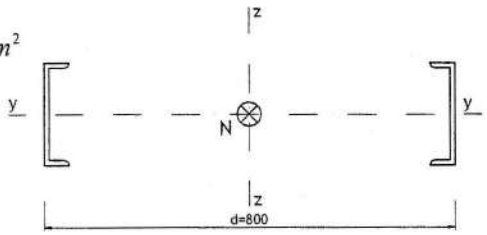
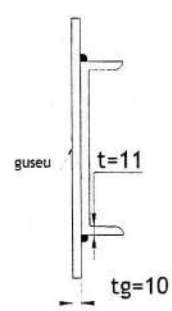


Fig. 5.12. Alcătuire element E_2

$6^0\ \dfrac{N_2}{\varphi_y \cdot A} = \dfrac{577.80\cdot 10^3 N}{0.477\cdot 5600mm^2} \cong 216.31\dfrac{N}{mm^2} < R = 220\dfrac{N}{mm^2}.$

Prin urmare, pentru elementul E_2 se vor folosi profile **„U18"**.



B. Dimensionarea prinderii cu sudură:

$7^0\ N_s = 1.2\cdot\varphi_y\cdot A\cdot R = 1.2\cdot 0.477\cdot 5600mm^2\cdot 220\dfrac{N}{mm^2} \cong 705.2kN;$

8^0 Se alege $t_g = 10mm;$ se propune $a_s = 6mm;$

$a_s = 6mm < \min\{0.7t_g; 0.85t\} = \min\{7; 9.35\} = 7mm$

$9^0\ l_s^{nec} = \dfrac{N_s}{4 \cdot a_s \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_s = \dfrac{705.2 \cdot 10^3 N}{4 \cdot 6 \cdot 150 N/mm^2} + 2 \cdot 6mm = 207.89mm$

$\Rightarrow$ Se alege $l_s = 210mm$

$10^0\ 15 \cdot a_s \le l_s \le 60 \cdot a_s \Leftrightarrow 15 \cdot 6 = 90mm < l_s = 210mm < 60 \cdot 6 = 360mm$

$l_s = 210mm > h_{PROFIL-U} = 180mm \Rightarrow$ sunt respectate condițiile constructive .

C. Dimensionarea elementelor de solidarizare

$11^0\ T_c = 0.012 \cdot A \cdot R = 0.012 \cdot 5600mm^2 \cdot 220N/mm^2 = 14784N;$

$12^0\ i_1 = i_z^{1U} = 20.2mm;$

Se alege $l_1 = 800mm < 40 \cdot i_1 = 808mm;$

$13^0\ c = d - 2 \cdot e = 800mm - 2 \cdot 19.2mm = 761.6mm;$

Se folosesc profile U18 $\Rightarrow e = 19.2mm.$

$\alpha = arctg\dfrac{l_1}{c} = arctg\dfrac{800mm}{761.6mm} \cong 46.41^\circ \Rightarrow 30^\circ < \alpha = 46.41^\circ < 60^\circ;$

$14^0\ \lambda_1 = \dfrac{l_1}{i_z^{1U}} = \dfrac{800mm}{20.2mm} \cong 40;$

15^0 Se determină coeficientul de flambaj minim al ramurii φ_r :

$\lambda_1 = 40 \xrightarrow{C\_OL37} \varphi_r = 0.881;$

$16^0\ \varphi_r = 0.881 \ge \varphi_{\min} = \varphi_y = 0.477;$

$\Rightarrow$ Prin urmare flambajul ramurii nu se produce înaintea flambajului barei.

$17^0\ D = \dfrac{T_c}{2 \cdot \cos\alpha} = \dfrac{14784N}{2 \cdot \cos 46.41^\circ} = 10721N;$

$18^0\ l_d = \sqrt{l_1^2 + c^2} = \sqrt{(800)^2 + (761.6)^2} \cong 1105mm;$

19^0 Se propun corniere 40×40×4 pentru zăbreluțele elementului E_2.

$A_{CORNIER} = 308mm^2$ şi $i_\eta = 7.8mm;$

$20^0\ \lambda_d = \dfrac{l_d}{i_\eta} = \dfrac{1105mm}{7.8mm} \cong 142 \xrightarrow{C\_OL37} \varphi_d = 0.312;$

$21^0\ \dfrac{D}{\varphi_d \cdot A_{CORNIER}} = \dfrac{10721N}{0.312 \cdot 308mm^2} \cong 111.57N/mm^2 < m \cdot R = 0.75 \cdot 220 = 165N/mm^2.$

5.4.4. DIMENSIONAREA ELEMENTULUI E_3 (bara 3-4):

$N_3 = N_{34} = 204.52kN$ (gruparea specială de încărcări)

A. Alegerea profilelor „U" :

$1^0\ l_{fy} = l_{fz} = t = 11.0m;$

2^0 Se propun profilele „U20"

$\Rightarrow A_{1U} = 3220mm^2;$

$A = 2 \cdot A_{1U} = 2 \cdot 3220mm^2 = 6440mm^2;$

$3^0\ i_y = i_y^{1U} = 77.0mm;$

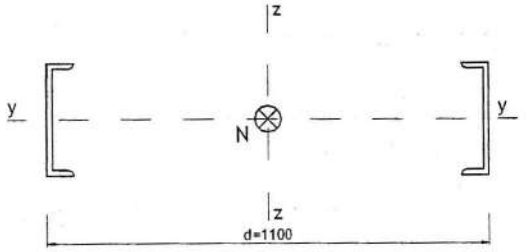


Fig. 5.13. Alcătuire element E_3

$4^0\ \lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y} = \frac{11000mm}{77.0} = 142.86 < \lambda_a = 150;$

$5^0\ \lambda_y \cong 143 \xrightarrow{B} \varphi_y = 0.328;$

$6^0\ \frac{N_3}{\varphi_y \cdot A} = \frac{204.52 \cdot 10^3 N}{0.328 \cdot 6440mm^2} = 96.83\frac{N}{mm^2} < R = 220\frac{N}{mm^2};$

Prin urmare se vor folosi profile „**U20**" pentru elementul E_3.

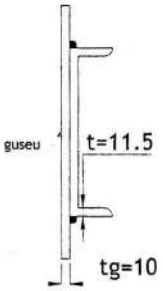
B. Dimensionarea prinderii cu sudură:

$7^0\ N_s = 1.2 \cdot \varphi_y \cdot A \cdot R = 1.2 \cdot 0.308 \cdot 6440mm^2 \cdot 220\frac{N}{mm^2} = 523.65kN;$

8^0 Se alege $t_g = 10mm$; se propune $a_s = 4mm$;

$a_s = 4mm < \min\{0.7t_g; 0.85t\} = \min\{7; 9.77\} = 7mm$

$9^0\ l_s^{nec} = \frac{N_s}{4 \cdot a_s \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_s = \frac{523.65 \cdot 10^3 N}{4 \cdot 4 \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 4mm = 226.19mm$



$\Rightarrow$ Se alege $l_s = 230mm$

$10^0\ 15 \cdot a_s \le l_s \le 60 \cdot a_s \Leftrightarrow 15 \cdot 6 = 90mm < l_s = 230mm < 60 \cdot 6 = 360mm$

$l_s = 230mm > h_{PROFIL-U} = 200mm \Rightarrow$ sunt respectate condițiile constructive .

C. Dimensionarea elementelor de solidarizare

$11^0\ T_c = 0.012 \cdot A \cdot R = 0.012 \cdot 6440mm^2 \cdot 220N/mm^2 = 17002N;$

$12^0\ i_1 = i_z^{1U} = 21.4mm;$

Se alege $l_1 = 800mm < 40 \cdot i_1 = 856mm;$

$13^0\ c = d - 2 \cdot e = 1100mm - 2 \cdot 20.1mm = 1059.8mm;$

Se folosesc profile U20 $\Rightarrow e = 20.1mm.$

$\alpha = arctg\frac{l_1}{c} = arctg\frac{800mm}{1059.8mm} \cong 37.05^\circ \Rightarrow 30^\circ < \alpha = 37.05^\circ < 60^\circ;$

$14^0\ \lambda_1 = \frac{l_1}{i_z^{1U}} = \frac{800mm}{21.4mm} \cong 38;$

15^0 Se determină coeficientul de flambaj minim al ramurii φ_r :

$\lambda_1 = 38 \xrightarrow{C\_OL37} \varphi_r = 0.892;$

$16^0\ \varphi_r = 0.892 \ge \varphi_{\min} = \varphi_y = 0.328;$

$\Rightarrow$ Prin urmare flambajul ramurii nu se produce înaintea flambajului barei.

$17^0\ D = \frac{T_c}{2 \cdot \cos\alpha} = \frac{17002N}{2 \cdot \cos 37.05^\circ} = 10652N;$

$18^0\ l_d = \sqrt{l_1^2 + c^2} = \sqrt{(800)^2 + (1059.8)^2} = 1328mm;$

19^0 Se propun corniere 40×40×4 pentru realizarea zăbrelușelor elementului E_3.

$A_{CORNIER} = 308mm^2$ și $i_\eta = 7.8mm;$

$20^0\ \lambda_d = \frac{l_d}{i_\eta} = \frac{1328mm}{7.8mm} \cong 171 \xrightarrow{C\_OL37} \varphi_d = 0.232;$

$21^0\ \frac{D}{\varphi_d \cdot A_{CORNIER}} = \frac{10652N}{0.232 \cdot 308mm^2} \cong 149.07N/mm^2 < m \cdot R = 0.75 \cdot 220 = 165N/mm^2.$

5.4.5. DIMENSIONAREA ELEMENTULUI E_4 (bara 2-3 şi 1-4):

$N_3 = N_{34} = 204.52kN$ (gruparea specială de încărcări)

A. Alegerea profilelor „U" :

$1^0\ l_{E_4} = \sqrt{(t)^2 + (l_t)^2} = \sqrt{(11)^2 + (12)^2} = 16.28m;$

$l_{fy} = 0.5 \cdot l_{E_4} = 0.5 \cdot 16.28m = 8.14m;$

$l_{fz} = 0.7 \cdot l_{E_4} = 0.7 \cdot 16.28m = 11.40m;$

2^0 Se propun profile „U22"

$\Rightarrow A_{1U} = 3740mm^2;$

$A = 2 \cdot A_{1U} = 2 \cdot 3740mm^2 = 7480mm^2;$

$3^0\ i_y = i_y^{1U} = 84.8mm;$

$4^0\ \lambda_y = \dfrac{l_{fy}}{i_y} = \dfrac{8140mm}{84.8} = 95.99 < \lambda_a = 150;$

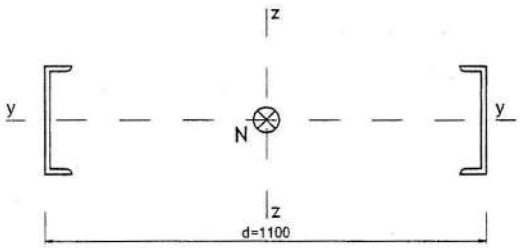


Fig. 5.14. Alcătuire element E_4

$5^0\ \lambda_y \cong 96 \xrightarrow{B} l_y = 0.579;$

$6^0\ \dfrac{N_4}{\varphi_y \cdot A} = \dfrac{832.45 \cdot 10^3 N}{0.579 \cdot 7480mm^2} = 192.23\dfrac{N}{mm^2} < R = 220\dfrac{N}{mm^2};$

Prin urmare se vor folosi profile „**U22**" pentru elementul $\boldsymbol{E_4}$.

B. Dimensionarea prinderii cu sudură:

$7^0\ N_s = 1.2 \cdot \varphi_y \cdot A \cdot R = 1.2 \cdot 0.519 \cdot 7480mm^2 \cdot 220\dfrac{N}{mm^2} = 1024.88kN;]$

8^0 Se alege $t_g = 10mm$; se propune $a_s = 4mm$;

$a_s = 4mm < \min\{0.7t_g; 0.85t\} = \min\{7; 10.625\} = 7mm$

$9^0\ l_s^{nec} = \dfrac{N_s}{4 \cdot a_s \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_s = \dfrac{1024.88 \cdot 10^3 N}{4 \cdot 6 \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 6mm = 296.69mm$

$\Rightarrow$ Se alege $l_s = 300mm$

$10^0\ 15 \cdot a_s \le l_s \le 60 \cdot a_s \Leftrightarrow 15 \cdot 6 = 90mm < l_s = 300mm < 60 \cdot 6 = 360mm$

$l_s = 300mm > h_{PROFIL-U} = 220mm \Rightarrow$ sunt respectate condiţiile constructive .

C. Dimensionarea elementelor de solidarizare

$11^0\ T_c = 0.012 \cdot A \cdot R = 0.012 \cdot 7480mm^2 \cdot 220N/mm^2 = 19748N;$

$12^0\ i_1 = i_z^{1U} = 23mm;$

Se alege $l_1 = 900mm < 40 \cdot i_1 = 920mm;$

$13^0\ c = d - 2 \cdot e = 1100mm - 2 \cdot 21.4mm = 1057.2mm;$

Se folosesc profile U22 $\Rightarrow e = 21.4mm.$

$\alpha = arctg\dfrac{l_1}{c} = arctg\dfrac{900mm}{1057.2mm} \cong 40.41^\circ \Rightarrow 30^\circ < \alpha = 40.41^\circ < 60^\circ;$

$14^0\ \lambda_1 = \dfrac{l_1}{i_z^{1U}} = \dfrac{900mm}{23mm} \cong 40;$

15^0 Se determină coeficientul de flambaj minim al ramurii φ_r :

$\lambda_1 = 40 \xrightarrow{C\_OL37} \varphi_r = 0.881;$

16^0 $\varphi_r = 0.881 \geq \varphi_{\min} = \varphi_y = 0.579;$

$\Rightarrow$ Prin urmare flambajul ramurii nu se produce înaintea flambajului barei.

17^0 $D = \dfrac{T_c}{2 \cdot \cos\alpha} = \dfrac{19748N}{2 \cdot \cos 40.41^\circ} = 12968N;$

18^0 $l_d = \sqrt{l_1^{\,2} + c^2} = \sqrt{(900)^2 + (1057.2)^2} = 1389mm;$

19^0 Se propun corniere 45×45×4 pentru realizarea zăbreluţelor elementului E_4.

$A_{CORNIER} = 349mm^2$ şi $i_\eta = 8.8mm;$

20^0 $\lambda_d = \dfrac{l_d}{i_\eta} = \dfrac{1389mm}{8.8mm} \cong 158 \xrightarrow{C\_OL37} \varphi_d = 0.264;$

21^0 $\dfrac{D}{\varphi_d \cdot A_{CORNIER}} = \dfrac{12968N}{0.264 \cdot 349mm^2} \cong 140.75N/mm^2 < m \cdot R = 0.75 \cdot 220 = 165N/mm^2.$

6. CALCULUL CONTRAVÂNTUIRII ORIZONTALE TRANSVERSALE

6.1. SCHEMĂ DE CALCUL

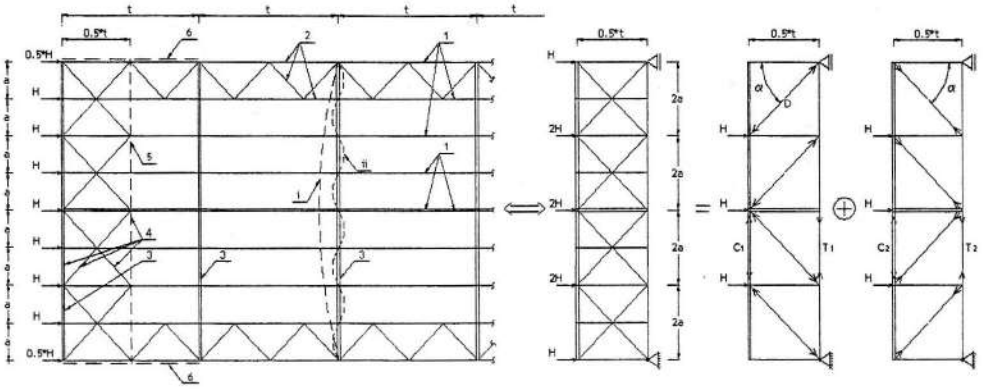
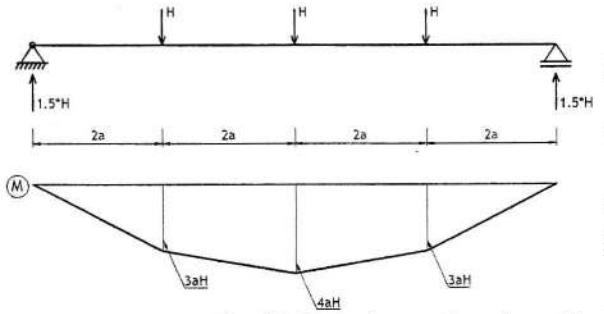


Fig. 6.1. Schematizare calcul contravântuire orizontală transversală

1 – pane de acoperiș;
2 – contravântuire orizontală longitudinală (C.O.L.);
3 – talpă superioară fermă (element stabilizat);
4 – contravântuire orizontală transversală (C.O.T.);
5 – talpa contravântuirii orizontale transversale;
6 – portal superior;
i – lungime de flambaj talpă superioară fermă în absența structurii stabilizatoare;
ii – lungime de flambaj talpă superioară fermă în prezența structurii stabilizatoare (C.O.T.).

Observație:
Contravântuirea orizontală transversală constituie structură stabilizatoare pentru tălpile superioare (comprimate) ale fermelor.



$$C_1 = \frac{3 \cdot a \cdot H}{0.5 \cdot t} = \frac{6 \cdot a \cdot H}{t} = T_2;$$

$$T_1 = \frac{4 \cdot a \cdot H}{0.5 \cdot t} = \frac{8 \cdot a \cdot H}{t} = C_2;$$

$$\left.\begin{aligned} C &= C_1 + C_2 \\ T &= T_1 + T_2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow C = T = \frac{14 \cdot a \cdot H}{t}.$$

Fig. 6.2. Determinarea eforturilor axiale din tălpile C.O.T.

unde:
C = efortul maxim de compresiune din talpa C.O.T.;
T = efortul maxim de întindere din talpa C.O.T..

6.2. EVALUAREA ÎNCĂRCĂRILOR

6.2.1. FORȚE DE STABILIZARE A TĂLPILOR COMPRIMATE (SUPERIOARE) ALE FERMELOR

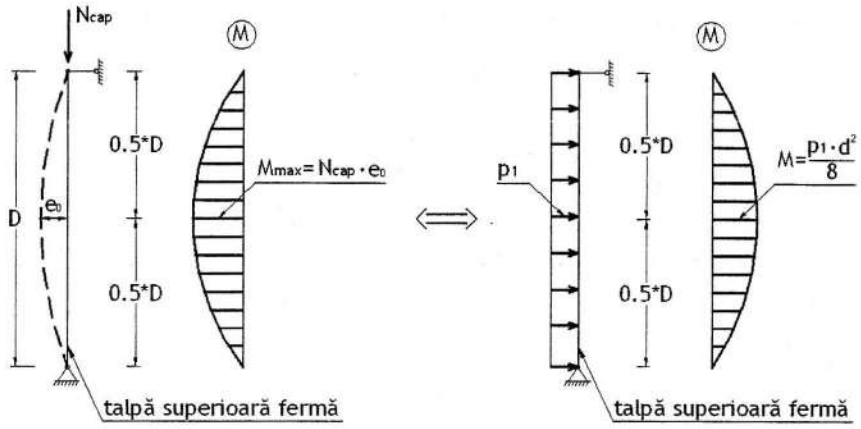
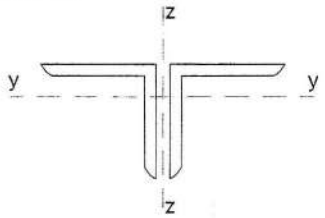


Fig. 6.3. Evaluarea încărcării echivalente stabilizării tălpilor comprimate ale fermelor

Observație:

Se ia în calcul efortul axial maxim din elementul stabilizat (forța axială maximă ce se poate înregistra în talpa superioară a fermei).



unde:

$N_{cap} = \varphi_y \cdot A \cdot R = 0.714 \cdot 8060 mm^2 \cdot 220 N/mm^2 \cong 1266.07 kN;$

N_{cap} = efortul capabil de compresiune al tălpii superioare a fermei;

A = aria secțiunii transversale a tălpii superioare a ferme (două corniere $150 \times 150 \times 14$).

$e_0 \cong \frac{D}{500} = \frac{24 \cdot 10^3 mm}{500} = 48 mm;$

e_0 = excentricitate (imperfecțiune geometrică) inițială echivalentă fenomenului de flambaj;

p_1 = încărcare echivalentă pierderii stabilității generale a unei tălpi superioare de fermă (echivalentă flambajului unui element stabilizat).

Valoarea încărcării p_1 rezultă din egalitatea: $M = M_{max}$.

$$M = M_{max} \Leftrightarrow \frac{p \cdot D^2}{8} = N_{cap} \cdot e_0 \Rightarrow p_1 = \frac{8 \cdot N_{cap} \cdot e_0}{D^2} = \frac{8 \cdot 1266.07 \cdot 10^3 N \cdot 48 mm}{(24 \cdot 10^3 mm)^2} \cong 0.85 N/mm.$$

$p_{10} = n_s \cdot k_r \cdot p_1;$

p_{10} = încărcare echivalentă pierderii stabilității celor zece tălpi comprimate de fermă;

n_s = numărul de elemente stabilizate (numărul de tălpi comprimate de fermă); $n_s = 10$;

k_r = coeficient subunitar care ține seama de probabilitatea producerii flambajului în același sens (flambajul tuturor elementelor stabilizate);

$$k_r = \left[0.2 + \frac{1}{n_s}\right]^{0.5} = \left[0.2 + \frac{1}{n_s}\right]^{0.5} \cong 0.55.$$

$$p_{10} = n_s \cdot k_r \cdot p_1 = 10 \cdot 0.55 \cdot 0.85 N/mm = 4.67 N/mm = 4.67 kN/m.$$

Încărcarea ce revine unei contravântuiri orizontale transversale este: $p_{stabilizare} = \frac{p_{10}}{n_{COT}}$.

n_{COT} - numărul contravântuirilor orizontale transversale; $n_{COT} = 3$;

$$p_{stabilizare} = \frac{p_{10}}{n_{COT}} = \frac{4.67 kN/m}{3} \cong 1.56 kN/m.$$

6.2.2. PRESIUNEA (SUCȚIUNEA) VÂNTULUI PE PERETELE DE FRONTON:

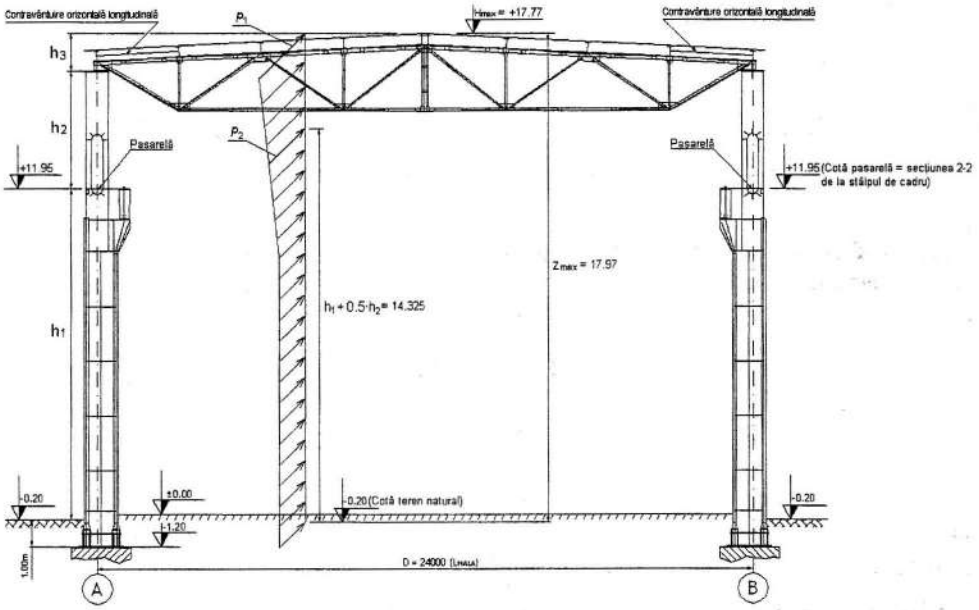


Fig. 6.4. Evaluarea presiunii (sucțiunii) vântului pe peretele de fronton

$$h_1 = l_i - 1.20m + 0.2m + h_{gr.reazem} = 12m - 1.2m + 0.2m + 1.15m = 12.15m;$$

$$h_2 = l_s - h_{gr.reazem} = 5.5m - 1.15m = 4.35m;$$

$$h_3 = z_{\max} - h_1 - h_2 = 17.97m - 12.15m - 4.35m = 1.47m.$$

$$p_1 = \gamma_F \cdot \beta \cdot c_{ni} \cdot c_h(z_{\max}) \cdot g_v;$$

$$p_2 = \gamma_F \cdot \beta \cdot c_{ni} \cdot c_h(h_1 + 0.5 \cdot h_2) \cdot g_v;$$

γ_F = coeficient parțial de siguranță; $\gamma_F = 1.2$;

β = coeficient de rafală; $\beta = 1.6$;

c_{ni} = coeficient aerodinamic al suprafeței expuse; $c_{ni}\begin{cases} 0.8 \rightarrow presiune; \\ 0.6 \rightarrow suctiune; \end{cases}$

g_v = presiunea dinamică de bază stabilizată la înălțimea de 10m deasupra cotei terenului natural; $g_v = 0.55kN/m^2$;

$c_h(z)$ = coeficient de variație a presiunii dinamice de bază în raport cu înălțimea z deasupra terenului liber (z se exprimă în metri);

$$c_h(z_{max}) = 0.65 \cdot \left(\frac{z_{max}}{10}\right)^{0.44} = 0.65 \cdot \left(\frac{17.97m}{10}\right)^{0.44} = 0.841;$$

$$c_h(h_1 + 0.5 \cdot h_2) = 0.65 \cdot \left(\frac{h_1 + 0.5 \cdot h_2}{10}\right)^{0.44} = 0.65 \cdot \left(\frac{12.15m + 0.5 \cdot 4.35m}{10}\right)^{0.44} = 0.761;$$

◊ Presiune pe peretele de fronton ($c_{ni} = 0.8$):

$$p_1 = \gamma_F \cdot \beta \cdot c_{ni} \cdot c_h(z_{max}) \cdot g_v = 1.2 \cdot 1.6 \cdot 0.8 \cdot 0.841 \cdot 0.55kN/m^2 = 0.71kN/m^2;$$

$$p_2 = \gamma_F \cdot \beta \cdot c_{ni} \cdot c_h(h_1 + 0.5 \cdot h_2) \cdot g_v = 1.2 \cdot 1.6 \cdot 0.8 \cdot 0.761 \cdot 0.55kN/m^2 = 0.64kN/m^2.$$

$$p_{presiune} = arie \quad \frac{p_1 + p_2}{2} \cdot (h_3 + 0.5 \cdot h_2) = \frac{0.71 + 0.64}{2} kN/m^2 \cdot (1.47 + 0.5 \cdot 4.35)m;$$

$$p_{presiune} = 2.46kN/m.$$

◊ Sucțiune pe peretele de fronton ($c_{ni} = 0.6$):

$$p_{suctiune} = \frac{0.6}{0.8} \cdot p_{presiune} = 0.75 \cdot 2.46kN/m = 1.85kN/m.$$

6.2.3. FRECAREA VÂNTULUI ÎN LUNGUL ACOPERIȘULUI

$p_f = \gamma_F \cdot c_f \cdot c_h(h_{med} \cong z_{max}) \cdot g_v$;

unde:

c_f = coeficient de antrenare (frecare); $c_f = 0.025$;

$c_h(h_{med})$ = coeficient de variație a presiunii dinamice de bază în raport cu înălțimea medie deasupra terenului liber a suprafeței considerate;

$c_h(h_{med} \cong z_{max}) = 0.841$;

$$p_f = \gamma_F \cdot c_f \cdot c_h(h_{med} \cong z_{max}) \cdot g_v = 1.2 \cdot 1.6 \cdot 0.025 \cdot 0.841 \cdot 0.55kN/m^2 \cong 0.023kN/m^2;$$

$$p_{frecare} = \frac{p_f}{n_{COT}} \cdot 9 \cdot t = \frac{0.023kN/m^2}{3} \cdot 9 \cdot 11m \cong 0.74kN/m.$$

6.2.4. COMBINAȚII DE ÎNCĂRCĂRI

Combinația 1 de încărcări: forțe de stabilizare a tălpilor comprimate a fermelor + presiune vânt pe peretele de fronton + antrenare vânt în lungul acoperișului;

$$H_1 = a \cdot (p_{stabilizare} + p_{presiune} + p_{frecare}) = 3.0m \cdot (1.56 + 2.46 + 0.74)kN/m = 14.28kN.$$

Combinația 2 de încărcări: forțe de stabilizare a tălpilor comprimate a fermelor + sucțiune vânt pe peretele de fronton + antrenare vânt în lungul acoperișului;

$$H_2 = a \cdot \left(p_{stabilizare} + p_{suctiune} + p_{frecare}\right) = 3.0m \cdot (1.56 + 1.85 + 0.74)kN/m = 12.45kN.$$

6.3. CALCUL SOLICITĂRI

Prezintă interes efortul maxim de compresiune înregistrat într-o diagonală a contravântuirii orizontale transversale, precum și eforturile maxime de întindere și compresiune înregistrate la nivelul tălpii proprii a contravântuirii orizontale transversale.

Efortul maxim de compresiune dintr-o diagonală a C.O.T. se înregistrează în *combinația 1* de încărcări:

$$D = \frac{1.5 \cdot H_1}{\cos\alpha} = \frac{1.5 \cdot 14.28kN}{\cos(47.49^\circ)} \cong 31.70kN;$$

$$\alpha = arctg\left(\frac{2 \cdot a}{0.5 \cdot t}\right) = arctg\left(\frac{2 \cdot 3m}{0.5 \cdot 11m}\right) = 47.49^\circ.$$

Efortul maxim de întindere ce apare în talpa proprie C.O.T. se înregistrează în *combinația1* de încărcări:

$$T = \frac{14 \cdot a \cdot H_1}{t} = \frac{14 \cdot 3.0m \cdot 14.28kN}{11.0m} = 54.52kN.$$

Efortul maxim de compresiune ce apare în talpa proprie a C.O.T. se înregistrează în *combinația 2* de încărcări.

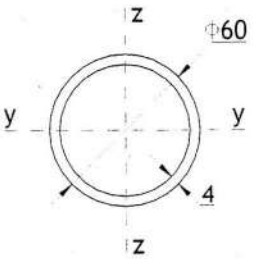
$$C = \frac{14 \cdot a \cdot H_2}{t} = \frac{14 \cdot 3.0m \cdot 12.45kN}{11.0m} = 47.54kN.$$

6.4. DIMENSIONARE DIAGONALE C.O.T.

1^0 Se calculează lungimea interax a diagonalei:

$$l_d = \sqrt{(0.5 \cdot t)^2 + (2 \cdot a)^2} = \sqrt{(0.5 \cdot 11m)^2 + (2 \cdot 3m)^2} = 8.14m.$$

2^0 Se propune o țeavă $\phi 60$ cu grosimea $t = 4mm$.



Caracteristicile geometrice ale secțiunii țevii sunt: $A = 704mm^2; I = 27.7 \cdot 10^4 mm^4$.

Raza de girație a secțiunii transversale a țevii este: $i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{277000mm^4}{704mm^2}} = 19.83mm.$

3^0 Se stabileşte lungimea de flambaj a diagonalei:

$l_f = l_{fy} = l_{fz} = 0.5 \cdot l_d = 4.07m.$

4^0 Se verifică zvelteţea diagonalei, conform relaţiei: $\boxed{\lambda \le \lambda_a = 250}$.

$$\lambda = \frac{l_f}{i} = \frac{4.07 \cdot 10^3 mm}{19.83mm} \cong 206 < \lambda_a = 250.$$

Dacă verificarea de zvelteţe nu este satisfăcută se revine la punctul 2^0 şi se propune altă secţiune.

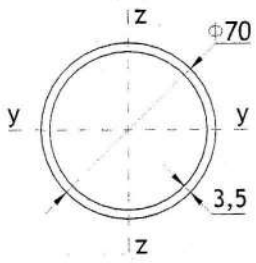
5^0 Se stabileşte coeficientul de flambaj: $\lambda = 206 \xrightarrow{CURBA\ A} \varphi = 0.187.$

6^0 Verificarea de stabilitate generală se face cu relaţia: $\boxed{\frac{D}{\varphi \cdot A} \le R}$.

$$\frac{D}{\varphi \cdot A} = \frac{31.70 \cdot 10^3 N}{0.187 \cdot 704mm^2} \cong 240.79N/mm^2 > R = 220N/mm^2;$$

$\frac{D}{\varphi \cdot A} > R \Rightarrow$ se revine la punctul 2^0 şi se propune o altă secţiune de ţeavă.

2^0 Se propune o ţeavă $\phi 70$ cu grosimea $t = 3.5mm.$



Caracteristicile geometrice ale secţiunii ţevii sunt: $A = 731mm^2; I = 40.5 \cdot 10^4 mm^4.$

Raza de giraţie a secţiunii transversale a ţevii este: $i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{405000mm^4}{731mm^2}} = 23.54mm.$

3^0 $l_f = l_{fy} = l_{fz} = 0.5 \cdot l_d = 4.07m.$

4^0 $\lambda = \frac{l_f}{i} = \frac{4.07 \cdot 10^3 mm}{23.54mm} \cong 173 < \lambda_a = 250.$

5^0 $\lambda = 173 \xrightarrow{CURBA\ A} \varphi = 0.260.$

6^0 $\frac{D}{\varphi \cdot A} = \frac{31.70 \cdot 10^3 N}{0.260 \cdot 731mm^2} \cong 166.79N/mm^2 < R = 220N/mm^2;$

$\Rightarrow$ Relaţia de verificare este satisfăcută.

Prin urmare pentru diagonalele contravântuirii orizontale transversale se vor folosi ţevi rotunde $\phi 70 \times 3.5$.

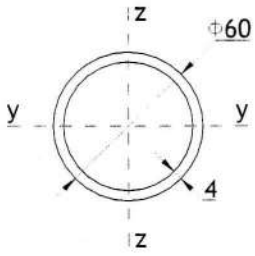
Observaţie:

Pentru diagonalele C.O.T. se va utiliza secţiunea cea mai economică ce satisface verificările de la punctul 4^0 şi 6^0.

6.5. DIMENSIONARE TALPĂ PROPRIE C.O.T.

1^0 Se stabileşte lungimea de flambaj a tălpii:
$l_f = l_{fy} = l_{fz} = a = 3.0m.$

2^0 Se propune o ţeavă $\phi 60$ cu grosimea $t = 4mm.$



Caracteristicile geometrice ale secţiunii ţevii sunt: $A = 704mm^2; I = 27.7 \cdot 10^4\ mm^4.$

Raza de giraţie a secţiunii transversale a ţevii este: $i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{277000mm^4}{704mm^2}} = 19.83mm.$

3^0 Se verifică zvelteţea tălpii cu relaţia: $\boxed{\lambda \le \lambda_a = 250}$.

$\lambda = \frac{l_f}{i} = \frac{3.0 \cdot 10^3\ mm}{19.83mm} \cong 152 < \lambda_a = 250.$

Dacă verificarea de zvelteţe nu este satisfăcută se revine la punctul 2^0 şi se propune altă secţiune.

4^0 Se stabileşte coeficientul de flambaj: $\lambda = 152 \xrightarrow{CURBA\ \_\ A} \varphi = 0.327.$

5^0 Verificarea de stabilitate generală se face cu relaţia: $\boxed{\frac{C}{\varphi \cdot A} \le R}$.

$\frac{C}{\varphi \cdot A} = \frac{47.54 \cdot 10^3\ N}{0.327 \cdot 704mm^2} \cong 206.79N/mm^2 < R = 220N/mm^2;$

$\Rightarrow$ Relaţia de verificare este satisfăcută.

6^0 Verificarea de rezistenţă se face cu relaţia: $\boxed{\frac{T}{A} \le R}$.

$\frac{T}{A} = \frac{54.52 \cdot 10^3\ N}{704mm^2} \cong 77.44N/mm^2 < R = 220N/mm^2;$

$\Rightarrow$ Relaţia de verificare este satisfăcută.

Prin urmare pentru talpa proprie a C.O.T. se vor folosi ţevi rotunde $\phi 60 \times 4$.

Observaţie:

Pentru talpa proprie a C.O.T. se va utiliza secţiunea cea mai economică ce satisface verificările de la punctul 3^0, 5^0 şi 6^0.

6.6. DIMENSIONAREA PRINDERILOR CU SUDURĂ A BARELOR C.O.T.

6.6.1. ETAPE DE CALCUL

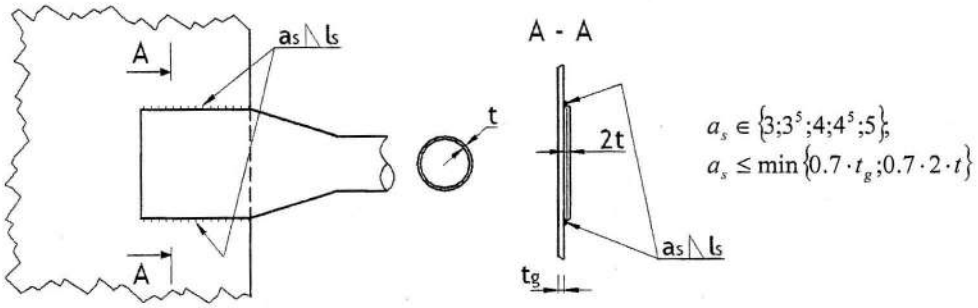
1^0 Se stabileşte efortul de calcul al prinderii sudate:

$N_s = \min\{1.3 \cdot N_{ef}; N_{cap}\}$;

N_{ef} - efortul axial maxim ce apare în bara pentru care se dimensionează prinderea;

N_{cap} - efortul capabil al barei (dacă N_{ef} este efort de compresiune atunci $N_{cap} = \varphi \cdot A \cdot R$; dacă N_{ef} este efort de întindere $N_{cap} = A \cdot R$.)

2^0 Se propun valori pentru grosimea cordoanelor de sudură:



$a_s \in \{3;3^5;4;4^5;5\}$;

$a_s \le \min\{0.7 \cdot t_g; 0.7 \cdot 2 \cdot t\}$

Fig. 6.5. Prinderea cu sudură a barelor contravântuii orizontale transversale

unde:

t_g = grosime guseu;

t = grosimea ţevii.

Se propune $t_g = 8mm$.

3^0 Se calculează lungimea necesară a cordoanelor de sudură:

$l_s^{nec} = \dfrac{N_s}{2 \cdot a_s \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_s$, unde R_f^s - rezistenţa de calcul la forfecare a sudurii în relief;

$$R_f^s = 0.7 \cdot R \cong 150N/mm^2.$$

Valoarea l_s^{nec} obţinută din ecuaţia de mai sus se va rotunji superior la multiplu de 10mm.

4^0 Se verifică condiţiile constructive: $\boxed{15 \cdot a_s \le l_s \le 60 \cdot a_s}$; $\boxed{l_s \ge 60mm}$.

Dacă aceste condiţii constructive nu sunt satisfăcute se revine la punctul 2^0 şi se propune altă valoare pentru a_s.

6.6.2. DIMENSIONAREA PRINDERII CU SUDURĂ A DIAGONALELOR: $(\phi 70 \times 3^5)$

1^0 $N_s = \min\{1.3 \cdot N_{ef}; N_{cap}\}$;

$1.3 \cdot N_{ef} = 1.3 \cdot D = 1.3 \cdot 31.70 \cdot 10^3 N = 41.21kN$;

$N_{cap} = \varphi \cdot A \cdot R = 0.260 \cdot 731mm^2 \cdot 220N/mm^2 = 41.813kN$;

$\Rightarrow N_s = 41.21kN$.

2^0 Se propune $a_s = 3mm.$

$\min(0.7 \cdot t_g; 0.7 \cdot 2 \cdot t) = \min(0.7 \cdot 8mm; 0.7 \cdot 2 \cdot 3mm) = 4.2mm;$

$\Rightarrow a_s < \min(0.7 \cdot t_g; 0.7 \cdot 2 \cdot t)$

3^0 $l_s^{nec} = \dfrac{N_s}{2 \cdot a_s \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_s = \dfrac{41.21 \cdot 10^3 N}{2 \cdot 3mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 3mm = 51.8mm.$

Se propune $l_s = 60mm.$

4^0 Se verifică condițiile constructive:

$15 \cdot a_s \le l_s \le 60 \cdot a_s \Leftrightarrow 45 < 60 < 180.$

$\Rightarrow$ Relația de verificare este satisfăcută.

6.6.3. DIMENSIONAREA PRINDERII CU SUDURĂ A TĂLPII C.O.T.: $(\phi 60 \times 4)$

1^0 $N_s = \min(1.3 \cdot N_{ef}; N_{cap})$;

$1.3 \cdot N_{ef} = 1.3 \cdot T = 1.3 \cdot 54.52 \cdot 10^3 N = 70.88kN;$

$N_{cap} = A \cdot R = 704mm^2 \cdot 220N/mm^2 = 154.88kN;$

$\Rightarrow N_s = 70.88kN.$

Observație:

Efortul capabil la compresiune al barei este mai mic decât efortul de întindere.

$N = \varphi \cdot A \cdot R = 0.327 \cdot 704mm^2 \cdot 220N/mm^2 = 50.65kN < N_{ef} = T = 54.52kN.$

Din acest motiv N_s se apreciază în raport cu efortul capabil la întindere al barei:

$$N_{cap} = A \cdot R.$$

2^0 Se propune $a_s = 3mm.$

$\min(0.7 \cdot t_g; 0.7 \cdot 2 \cdot t) = \min(0.7 \cdot 8mm; 0.7 \cdot 2 \cdot 4mm) = 5.6mm;$

$\Rightarrow a_s < \min(0.7 \cdot t_g; 0.7 \cdot 2 \cdot t)$

3^0 $l_s^{nec} = \dfrac{N_s}{2 \cdot a_s \cdot R_f^s} + 2 \cdot a_s = \dfrac{70.88 \cdot 10^3 N}{2 \cdot 4mm \cdot 150N/mm^2} + 2 \cdot 3mm = 84.7mm.$

Se propune $l_s = 90mm.$

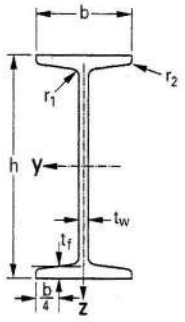
4^0 Se verifică condițiile constructive:

$15 \cdot a_s \le l_s \le 60 \cdot a_s \Leftrightarrow 45 < 90 < 180.$

$\Rightarrow$ Relația de verificare este satisfăcută.

Profile **I** laminate la cald

STAS 565-71
DIN 1025-63



Profil I	Dimensiuni (*mm*)						G (*kg/m*)	U (m^2/m)	A (cm^2)	A_v (cm^2)	S_y (cm^3)
	h	b	t_w	t_f	r_1	r_2					
8	80	42	3.9	5.77	3.9	2.3	5.9	0.30	7.6	3.42	11.4
10	100	50	4.5	6.64	4.5	2.7	8.3	0.37	10.6	4.85	19.9
12	120	58	5.1	7.7	5.1	3.1	11.1	0.44	14.2	6.63	31.8
14	140	66	5.7	8.6	5.7	3.4	14.3	0.50	18.3	8.65	47.7
16	160	74	6.3	9.5	6.3	3.8	17.9	0.57	22.8	10.83	68.0
18	180	82	6.9	10.4	6.9	4.1	21.9	0.64	27.9	13.35	93.4
20	200	90	7.5	11.3	7.5	4.5	26.2	0.71	33.5	16.03	125
22	220	98	8.1	12.2	8.1	4.9	31.1	0.77	39.6	19.06	162
24	240	106	8.7	13.1	8.7	5.2	36.2	0.84	46.1	22.33	206
26	260	113	9.4	14.1	9.4	5.6	41.9	0.91	53.4	26.08	257
28	280	119	10.1	15.2	10.1	6.1	47.9	0.97	61.1	30.18	316
30	300	125	10.8	16.2	10.8	6.5	54.2	1.03	69.0	34.58	381
32	320	131	11.5	17.3	11.5	6.9	61.0	1.09	77.7	39.26	457
34	340	137	12.2	18.3	12.2	7.3	68.0	1.15	86.7	44.27	540
36	360	143	13	19.5	13	7.8	76.2	1.21	97.0	49.95	678
40	400	155	14.4	21.6	14.4	8.6	92.4	1.33	118.0	61.69	857
45	450	170	16.2	24.3	16.2	9.7	115.0	1.48	147.0	77.79	1200
50	500	185	18	27	18	10.8	141.0	1.63	179.0	95.6	1620

Profil I	I_y (cm^4)	$W_{el,y}$ (cm^3)	$W_{pl,y}$ (cm^3)	i_y (*cm*)	I_z (cm^4)	$W_{el,z}$ (cm^3)	$W_{pl,z}$ (cm^3)	i_z (*cm*)	I_r (cm^4)	I_ω (cm^6)
8	77.8	19.5	22.8	3.20	6.3	3.00	5.3	2.65	0.87	88
10	171	34.2	39.8	4.01	12.2	4.88	8.7	3.89	1.60	268
12	328	54.7	63.6	4.81	21.5	7.41	12.4	1.23	2.71	685
14	573	81.9	95.4	5.61	35.2	10.7	17.9	1.40	4.32	1540
16	935	117	136	6.4	54.7	14.8	24.9	1.55	6.57	3140
18	1450	161	187	7.2	81.3	19.8	33.2	1.71	9.58	5920
20	2140	214	250	8.0	117	26.0	43.5	1.87	13.5	10520
22	3060	278	324	8.8	162	33.1	55.7	2.02	18.6	17760
24	4250	354	412	9.59	221	41.7	70.0	2.20	25.0	28730
26	5740	442	514	10.4	288	51.0	85.9	2.32	33.5	44070
28	7590	542	632	11.1	364	61.2	103	2.45	44.2	64580
30	9800	653	762	11.9	451	72.2	121	2.56	56.8	91850
32	12510	782	914	12.7	555	84.7	143	2.67	72.5	128800
34	15700	923	1080	13.5	674	98.4	166	2.80	90.4	178300
36	19610	1090	1276	14.2	818	114	194	2.90	115	240100
40	29210	1460	1714	15.7	1160	149	253	3.13	170	419600
45	45850	2040	2400	17.7	1730	203	345	3.43	267	791100
50	68740	2750	3240	19.6	2480	268	456	3.72	402	1403000

Precizări:

h = înălțimea profilului

b = lățimea tălpii profilului

t_w = grosimea inimii profilului

t_f = grosimea medie a tălpilor profilului

r_1 = raza de racordare a tălpilor cu inima

r_2 = raza de rotunjire a tălpilor la vârf

G (kg/m) = greutatea (masa) pe metru liniar

U (m^2/m) = suprafața laterală pe metru liniar

A = aria secțiunii transversale

A_v = aria de forfecare (când forța tăietoare acționează paralel cu axa z-z)

S_y = momentul static al semisecțiunii în raport cu axa y-y

I_y; I_z = moment inerție raportat la axa de încovoiere y-y; respectiv z-z

i_y; i_z = rază de inerție (girație) raportată la axa y-y; respectiv z-z

$W_{el.y}$; $W_{el.z}$ = modul de rezistență elastic în raport cu axa y-y; respectiv z-z

$W_{pl.y}$; $W_{pl.z}$ = modul de rezistență plastic în raport cu axa y-y; respectiv z-z

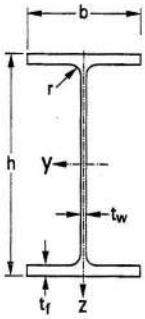
I_r = moment de inerție la răsucire simplă (răsucire cu deplanare liberă)

I_ω = moment de inerție sectorial (răsucire cu deplanare împiedicată)

Pentru profilele **I** laminate la cald panta tălpilor este de 14%.

Profile **I PE**

EURONORM 19-57
DIN 1025-65



Profil I PE	Dimensiuni (*mm*)					G (*kg/m*)	U (m^2/m)	A (cm^2)	A_v (cm^2)	S_y (cm^3)
	h	b	t_w	t_f	r					
80	80	46	3.8	5.2	5	6.0	0.33	7.6	3.58	11.6
100	100	55	4.1	5.7	7	8.1	0.40	10.3	5.08	19.7
120	120	64	4.4	6.3	7	10.4	0.47	13.2	6.31	30.4
140	140	73	4.7	6.9	7	12.9	0.55	16.4	7.64	44.2
160	160	82	5.0	7.4	9	15.8	0.62	20.1	9.66	61.9
180	180	91	5.3	8.0	9	18.8	0.70	23.9	11.25	83.2
200	200	100	5.6	8.5	12	22.4	0.77	28.5	14.0	110
220	220	110	5.9	9.2	12	26.2	0.85	33.4	15.88	143
240	240	120	6.2	9.8	15	30.7	0.92	39.1	19.14	183
270	270	135	6.6	10.2	15	36.1	1.04	45.9	22.14	242
300	300	150	7.1	10.7	15	42.2	1.16	53.8	25.68	314
330	330	160	7.5	11.5	18	49.1	1.25	62.6	30.81	402
360	360	170	8.0	12.7	18	57.1	1.35	72.7	35.14	510
400	400	180	8.6	13.5	21	66.3	1.47	84.5	42.69	654
450	450	190	9.4	14.6	21	77.6	1.61	98.8	50.85	851
500	500	200	10.2	16.0	21	90.7	1.74	116.0	59.87	1100
550	550	210	11.1	17.2	24	106.0	1.88	134.0	72.34	1390
600	600	220	12.0	19.0	24	122.0	2.02	156.0	83.78	1760

Profil I PE	I_y (cm^4)	$W_{el,y}$ (cm^3)	$W_{pl,y}$ (cm^3)	i_y (*cm*)	I_z (cm^4)	$W_{el,z}$ (cm^3)	$W_{pl,z}$ (cm^3)	i_z (*cm*)	I_r (cm^4)	I_ω (cm^6)
80	80.0	20.0	23.2	3.24	8.5	3.69	5.7	1.05	0.70	118
100	171.0	34.20	39.41	4.07	15.92	5.79	9.15	1.24	1.21	351
120	317.8	52.96	60.73	4.90	27.67	8.65	13.58	1.45	1.74	890
140	541.2	77.32	88.34	5.74	44.92	12.31	19.25	1.65	2.45	1980
160	869.3	108.7	123.9	6.58	68.31	16.66	26.10	1.84	3.60	3960
180	1317	146.3	166.4	7.42	100.9	22.16	34.60	2.05	4.79	7430
200	1943	194.3	220.6	8.26	142.4	28.47	44.61	2.24	6.98	12990
220	2772	252.0	285.4	9.11	204.9	37.25	58.11	2.48	9.07	22670
240	3892	324.3	366.6	9.97	283.6	47.27	73.92	2.69	12.88	37390
270	5790	428.9	484.0	11.23	419.9	62.20	96.95	3.02	15.94	70580
300	8356	557.1	628.4	12.46	603.8	80.50	125.2	3.35	20.12	125900
330	11770	713.1	804.3	13.71	788.1	98.52	153.7	3.55	28.15	199100
360	16270	903.6	1019	14.95	1043	122.8	191.1	3.79	37.32	313600
400	23130	1156	1307	16.55	1318	146.4	229.0	3.95	51.08	490000
450	33740	1500	1702	18.48	1676	176.4	276.4	4.12	66.87	791000
500	48200	1928	2194	20.43	2142	214.2	335.9	4.31	89.29	1249000
550	67120	2441	2787	22.35	2668	254.1	400.5	4.45	123.2	1884000
600	92080	3069	3512	24.30	3387	307.9	485.6	4.66	165.4	2846000

Precizări (pentru profile IPE, HEA, HEB):

h = înălțimea profilului

b = lățimea tălpii profilului

t_w = grosimea inimii profilului

t_f = grosimea medie a tălpilor profilului

r = raza de racordare a tălpilor cu inima

G (*kg/m*) = greutatea (masa) pe metru liniar

U (m^2/m) = suprafața laterală pe metru liniar

A = aria secțiunii transversale

A_v = aria de forfecare (când forța tăietoare acționează paralel cu axa z-z)

S_y = momentul static al semisecțiunii în raport cu axa y-y

I_y; I_z = moment inerție raportat la axa de încovoiere y-y; respectiv z-z

i_y; i_z = rază de inerție (giratie) raportată la axa y-y; respectiv z-z

$W_{el.y}$; $W_{el.z}$ = modul de rezistență elastic în raport cu axa y-y; respectiv z-z

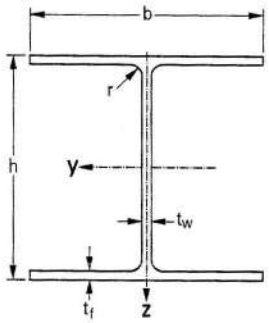
$W_{pl.y}$; $W_{pl.z}$ = modul de rezistență plastic în raport cu axa y-y; respectiv z-z

I_r = moment de inerție la răsucire simplă (răsucire cu deplanare liberă)

I_ω = moment de inerție sectorial (răsucire cu deplanare împiedicată)

Profile **HE-A**

EURONORM 53-62
DIN 1025

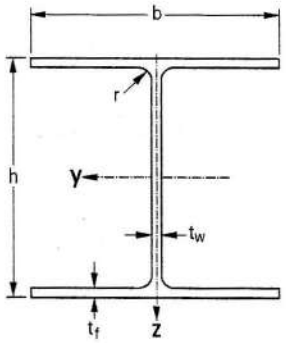


Profil HE-A	Dimensiuni (*mm*)					G (*kg/m*)	U (m^2/m)	A (cm^2)	A_v (cm^2)	S_y (cm^3)
	h	b	t_w	t_f	r					
100	96	100	5.0	8.0	12	16.7	0.56	21.2	7.56	41.5
120	114	120	5.0	8.0	12	19.9	0.67	25.3	8.46	59.7
140	133	140	5.5	8.5	12	24.7	0.79	31.4	10.12	86.7
160	152	160	6.0	9.0	15	30.4	0.91	38.8	13.21	123
180	171	180	6.0	9.5	15	35.5	1.02	45.3	14.47	162
200	190	200	6.5	10.0	18	42.3	1.14	53.8	18.08	215
240	230	240	7.5	12.0	21	60.3	1.37	76.8	25.18	372
260	250	260	7.5	12.5	24	68.2	1.48	86.8	28.76	460
300	290	300	8.5	14.0	27	88.3	1.72	112	37.28	692
340	330	300	9.5	16.5	27	106	1.79	133	44.95	925
360	350	300	10.0	17.5	27	112	1.83	143	48.96	1040
400	390	300	11.0	19.0	27	125	1.91	159	57.33	1280
450	440	300	11.5	21.0	27	140	2.01	178	65.78	1610
500	490	300	12.0	23.0	27	155	2.11	198	74.72	1970
600	590	300	13.0	25.0	27	178	2.31	226	93.21	2680
700	690	300	14.5	27.0	27	204	2.50	260	117.0	3520
800	790	300	15.0	28.0	30	224	2.70	286	138.3	4350
1000	990	300	16.5	31.0	30	272	3.10	347	184.6	6410

Profil HE-A	I_y (cm^4)	$W_{el,y}$ (cm^3)	$W_{pl,y}$ (cm^3)	i_y (*cm*)	I_z (cm^4)	$W_{el,z}$ (cm^3)	$W_{pl,z}$ (cm^3)	i_z (*cm*)	I_r (cm^4)	I_ω (cm^6)
100	349.2	72.76	83.01	4.06	133.8	26.76	41.14	2.51	5.24	2580
120	606.2	106.3	119.5	4.89	230.9	38.48	58.85	3.02	5.99	6470
140	1033.0	155.4	173.5	5.73	389.3	55.62	84.85	3.52	8.13	15060
160	1673.0	220.1	245.1	6.57	615.6	76.95	117.6	3.98	12.19	31410
180	2510.0	293.6	324.9	7.45	924.6	102.7	156.5	4.52	14.80	60120
200	3692.0	388.6	429.5	8.28	1336.0	133.6	203.8	4.98	20.98	108000
240	7763.0	675.1	744.6	10.05	2769	230.7	351.7	6.00	41.55	328500
260	10450	836.4	919.8	10.97	3668	282.1	430.2	6.50	52.37	515400
300	18260	1260	1383	12.74	6310	420.6	641.2	7.49	85.17	1200000
340	27690	1678	1850	14.40	7436	495.7	755.9	7.46	127.20	1824000
360	33090	1891	2088	15.22	7887	525.8	802.3	7.43	148.80	2177000
400	45070	2311	2562	16.84	8564	570.9	872.9	7.34	189.00	2942000
450	63720	2896	3216	18.92	9465	631.0	965.5	7.29	243.80	4148000
500	86970	3550	3949	20.98	10370	691.1	1059	7.24	309.30	5643000
600	141200	4787	5350	24.97	11270	751.4	1156	7.05	397.80	8978000
700	215300	6241	7032	28.75	12180	811.9	1257	6.84	513.90	13350000
800	303400	7682	8699	32.58	12640	842.6	1312	6.65	596.90	18290000
1000	553800	11190	12820	39.96	14000	933.6	1470	6.35	822.40	32070000

Profile **HE-B**

EURONORM 53-62
DIN 1025-63

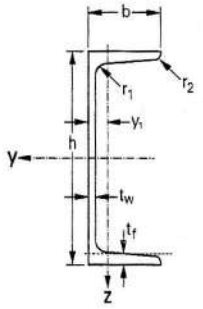


Profil HE-B	Dimensiuni (*mm*) h	b	t_w	t_f	r	G (*kg/m*)	U (m^2/m)	A (cm^2)	A_v (cm^2)	S_y (cm^3)
100	100	100	6.0	10.0	12	20.4	0.57	26.04	9.04	52.1
120	120	120	6.5	11.0	12	26.7	0.69	34.01	10.96	82.6
140	140	140	7.0	12.0	12	33.7	0.81	42.96	13.08	123
160	160	160	8.0	13.0	15	47.6	0.92	54.25	17.59	177
180	180	180	8.5	14.0	15	51.2	1.04	65.25	20.24	241
200	200	200	9.0	15.0	18	61.3	1.15	78.08	24.83	321
240	240	240	10.0	17.0	21	83.2	1.38	106.00	33.23	527
260	260	260	10.0	17.5	24	93.0	1.50	118.40	37.59	641
300	300	300	11.0	19.0	27	117	1.73	149.10	47.43	934
340	340	300	12.0	21.5	27	134	1.81	170.90	56.09	1200
360	360	300	12.5	22.5	27	142	1.85	180.60	60.60	1340
400	400	300	13.5	24.0	27	155	1.93	197.80	69.98	1620
450	450	300	14.0	26.0	27	171	2.03	218.00	79.66	1990
500	500	300	14.5	28.0	27	187	2.12	238.60	89.82	2410
600	600	300	15.5	30.0	27	212	2.32	270.00	110.80	3210
700	700	300	17.0	32.0	27	241	2.52	306.40	137.10	4160
800	800	300	17.5	33.0	30	262	2.71	334.20	161.80	5110
1000	1000	300	19.0	36.0	30	314	3.11	400.00	212.50	7430

Profil HE-B	I_y (cm^4)	$W_{el,y}$ (cm^3)	$W_{pl,y}$ (cm^3)	i_y (*cm*)	I_z (cm^4)	$W_{el,z}$ (cm^3)	$W_{pl,z}$ (cm^3)	i_z (*cm*)	I_r (cm^4)	I_ω (cm^6)
100	449.5	89.91	104.20	4.16	167.3	33.45	51.42	2.53	9.25	3380
120	864.4	144.1	165.2	5.04	317.5	52.92	80.97	3.06	13.84	9410
140	1509	215.6	245.4	5.93	549.7	78.52	119.80	3.58	20.06	22480
160	2492	311.5	354.0	6.78	889.2	111.2	170.0	4.05	31.24	47940
180	3831	425.7	481.4	7.66	1363.0	151.4	231.0	4.57	42.16	93750
200	5696	569.6	642.5	8.54	2003.0	200.3	305.8	5.07	59.28	171100
240	11260	938.3	1053.0	10.31	3923	326.9	498.4	6.08	102.7	486900
260	14920	1148.0	1283.0	11.22	5135	395.0	602.2	6.58	123.8	753700
300	25170	1678.0	1869.0	12.99	8563	570.9	870.1	7.58	185.0	1688000
340	36660	2156	2408	14.65	9690	646.0	985.7	7.53	257.2	2454000
360	43190	2400	2683	15.46	10140	676.1	1032	7.49	292.5	2883000
400	57680	2884	3232	17.08	10820	721.3	1104	7.40	355.7	3817000
450	79890	3551	3982	19.14	11720	781.4	1198	7.33	440.5	5258000
500	107200	4287	4815	21.19	12620	841.6	1292	7.27	538.4	7018000
600	171000	5701	6425	25.17	13530	902.0	1391	7.08	667.2	10970000
700	256900	7340	8327	28.96	14440	962.7	1495	6.87	830.9	16060000
800	359100	8977	10230	32.78	14900	993.6	1553	6.68	946.0	21840000
1000	644700	12890	14860	40.15	16280	1085.0	1716	6.38	1254	37640000

Profile **U** laminate la cald

STAS 565-71
DIN 1025-63



Profil U	Dimensiuni (*mm*)						G (*kg/m*)	U (m^2/m)	A (cm^2)	A_v (cm^2)	y_1 (*cm*)
	h	b	t_w	t_f	r_1	r_2					
6 ½	65	42	5.5	7.5	7.5	4	7.09	0.273	9.03	3.85	1.42
8	80	45	6	8	8	4	8.64	0.312	11.0	5.10	1.45
10	100	50	6	8.5	8.5	4.5	10.6	0.372	13.5	6.46	1.55
12	120	55	7	9	9	4.5	13.4	0.434	17.0	8.80	1.6
14	140	60	7	10	10	5	16.0	0.489	20.4	10.41	1.75
16	160	65	7.5	10.5	10.5	5.5	18.8	0.546	24.0	12.60	1.84
18	180	70	8	11	11	5.5	22.0	0.611	28.0	15.09	1.92
20	200	75	8.5	11.5	11.5	6	25.3	0.661	32.2	17.71	2.01
22	220	80	9	12.5	12.5	6.5	29.4	0.718	37.4	20.62	2.14
24	240	85	9.5	13	13	6.5	33.2	0.775	42.3	23.71	2.23
26	260	90	10	14	14	7	37.9	0.834	48.3	27.12	2.36
28	280	95	10	15	15	7.5	41.8	0.89	53.3	29.28	2.53
30	300	100	10	16	16	8	46.2	0.95	58.8	31.77	2.70
32	320	100	14	17.5	17.5	8.75	59.5	0.982	75.8	47.11	2.60
35	350	100	14	16	16	8	60.6	1.047	77.3	50.84	2.40
38	380	102	13.5	16	16	8	63.1	1.110	80.4	53.23	2.38
40	400	110	14	18	18	9	71.8	1.182	91.5	58.55	2.65

Profil U	I_y (cm^4)	$W_{el,y}$ (cm^3)	$W_{pl,y}$ (cm^3)	i_y (*cm*)	I_z (cm^4)	$W_{el,z}$ (cm^3)	$W_{pl,z}$ (cm^3)	i_z (*cm*)	I_r (cm^4)	I_ω (cm^6)	S_y (cm^3)
6 ½	57.5	17.7	23.4	2.52	14.1	5.07	9.46	1.25	1.37	68	10.5
8	106	26.5	31.8	3.1	19.4	6.36	12.1	1.33	2.16	170	15.9
10	206	41.2	49	3.91	29.3	8.49	16.2	1.47	2.81	410	24.5
12	364	60.7	72.6	4.62	43.2	11.1	21.2	1.59	4.15	900	36.3
14	605	86.4	103	5.45	62.7	14.8	28.3	1.75	5.68	1800	51.4
16	925	116	138	6.21	85.3	18.3	35.2	1.89	7.39	3260	68.8
18	1350	150	179	6.95	114	22.4	42.9	2.02	9.55	5570	89.6
20	1910	191	228	7.7	148	27	51.8	2.14	11.9	9070	114
22	2690	245	292	8.48	197	33.6	64.1	2.3	16	14600	146
24	3600	300	358	9.22	248	39.6	75.7	2.42	19.7	22100	179
26	4820	371	442	9.99	317	47.7	91.6	2.56	25.5	33300	221
28	6280	448	532	10.9	399	57.2	109	2.74	31	48500	266
30	8030	535	632	11.7	495	67.8	130	2.9	37.4	69100	316
32	10870	679	826	12.1	597	80.6	152	2.81	66.7	96100	413
35	12840	734	918	12.9	570	75	143	2.72	61.2	114000	459
38	15760	829	1014	14	615	78.7	148	2.77	59.1	146000	507
40	20350	1020	1240	14.9	846	102	190	3.04	81.6	221000	618

Precizări:

h = înălțimea profilului

b = lățimea tălpii profilului

t_w = grosimea inimii profilului

t_f = grosimea medie a tălpilor profilului

r_1 = raza de racordare a tălpilor cu inima

r_2 = raza de rotunjire a tălpilor la vârf

G (kg/m) = greutatea (masa) pe metru liniar

U (m^2/m) = suprafața laterală pe metru liniar

A = aria secțiunii transversale

A_v = aria de forfecare (când forța tăietoare acționează paralel cu axa z-z)

y_1 = distanța de la axa z-z la fața exterioară a inimii profilului

I_y; I_z = moment inerție raportat la axa de încovoiere y-y; respectiv z-z

i_y; i_z = rază de inerție (girație) raportată la axa y-y; respectiv z-z

$W_{el.y}$; $W_{el.z}$ = modul de rezistență elastic în raport cu axa y-y; respectiv z-z

$W_{pl.y}$; $W_{pl.z}$ = modul de rezistență plastic în raport cu axa y-y; respectiv z-z

I_r = moment de inerție la răsucire simplă (răsucire cu deplanare liberă)

I_ω = moment de inerție sectorial (răsucire cu deplanare împiedicată)

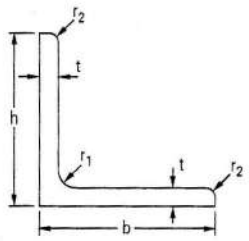
S_y = momentul static al semisecțiunii în raport cu axa y-y

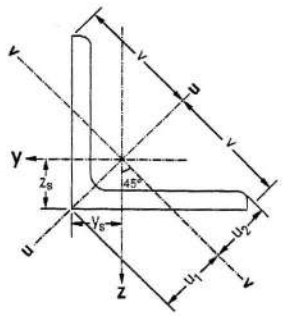
Pentru profilele **U** cu înălțimea de până la 300mm inclusiv, panta tălpilor este de 8%, iar pentru profilele **U** cu înălțimea mai mare de 300mm, panta tălpilor este de 5%.

Anexă

Corniere cu aripi egale ⌞

STAS 424-80
DIN 1028



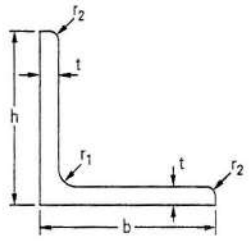


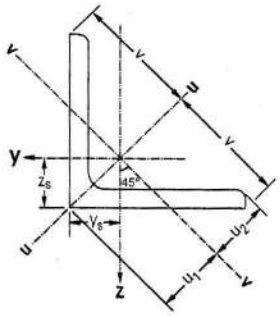
Cornier	Dimensiuni (*mm*)								G	U
	h = b	t	r_1	r_2	$z_s = y_s$	v	u_1	u_2	(*kg/m*)	(m^2/m)
L 20x20x4	20	4	3.5	2	6.4	14.1	9	7.1	1.14	0.077
L 30x30x4	30	4	5	2.5	8.8	21.2	12.4	10.5	1.78	0.116
L 40x40x4	40	4	6	3	11.2	28.3	15.8	14	2.42	0.155
L 40x40x5	40	5	6	3	11.6	28.3	16.4	14.2	2.97	0.155
L 45x45x4	45	4	7	3.5	12.3	31.8	17.5	15.7	2.74	0.174
L 45x45x5	45	5	7	3.5	12.8	31.8	18.1	15.8	3.38	0.174
L 50x50x4	50	4	7	3.5	13.6	35.4	19.2	17.5	3.06	0.194
L 50x50x5	50	5	7	3.5	14	35.4	19.8	17.6	3.77	0.194
L 50x50x6	50	6	7	3.5	14.5	35.4	20.4	17.7	4.47	0.194
L 60x60x5	60	5	8	4	16.4	42.4	23.2	21.1	4.57	0.233
L 60x60x6	60	6	8	4	16.9	42.4	23.9	21.1	5.42	0.233
L 60x60x8	60	8	8	4	17.7	42.4	25	21.4	7.09	0.233
L 70x70x6	70	6	9	4.5	19.3	49.5	27.3	24.6	6.38	0.272
L 70x70x7	70	7	9	4.5	19.7	49.5	27.9	24.7	7.38	0.272
L 80x80x7	80	7	10	5	22.1	56.6	31.3	28.2	8.49	0.311
L 80x80x8	80	8	10	5	22.6	56.6	32	28.2	9.66	0.311
L 90x90x8	90	8	11	5.5	25	63.6	35.3	31.7	10.9	0.351
L 90x90x9	90	9	11	5.5	25.4	63.6	35.9	31.8	12.2	0.351

Cornier	A (cm^2)	$I_y = I_z$ (cm^4)	$W_y = W_z$ (cm^4)	$i_y = i_z$ (*cm*)	I_u (cm^4)	i_u (*cm*)	I_v (cm^4)	W_v (cm^4)	i_v (*cm*)
L 20x20x4	1.45	0.48	0.35	0.58	0.77	0.73	0.19	0.21	0.36
L 30x30x4	2.27	1.81	0.86	0.89	2.85	1.12	0.76	0.61	0.58
L 40x40x4	3.08	4.48	1.56	1.21	7.09	1.52	1.86	1.18	0.78
L 40x40x5	3.79	5.43	1.91	1.20	8.64	1.51	2.22	1.35	0.77
L 45x45x4	3.49	6.43	1.97	1.36	10.2	1.71	2.68	1.53	0.88
L 45x45x5	4.30	7.83	2.43	1.35	12.4	1.70	3.25	1.80	0.87
L 50x50x4	3.89	8.97	2.46	1.52	14.2	1.91	3.73	1.94	0.98
L 50x50x5	4.80	11.0	3.05	1.51	17.4	1.90	4.59	2.32	0.98
L 50x50x6	5.69	12.8	3.61	1.50	20.4	1.89	5.24	2.57	0.96
L 60x60x5	5.82	19.4	4.45	1.82	30.7	2.30	8.03	3.46	1.17
L 60x60x6	6.91	22.8	5.29	1.82	36.1	2.29	9.43	3.95	1.17
L 60x60x8	9.03	29.1	6.88	1.80	46.1	2.26	12.1	4.84	1.16
L 70x70x6	8.13	36.9	7.27	2.13	58.5	2.68	15.3	5.60	1.37
L 70x70x7	9.40	42.4	8.43	2.12	67.1	2.67	17.6	6.31	1.37
L 80x80x7	10.8	64.2	11.1	2.44	102	3.07	26.5	8.48	1.57
L 80x80x8	12.3	72.3	12.6	2.42	115	3.06	29.6	9.25	1.55
L 90x90x8	13.9	104	16.1	2.74	166	3.45	43.1	12.2	1.76
L 90x90x9	15.5	116	18.0	2.74	184	3.45	47.8	13.3	1.76

Corniere cu aripi egale ⌞

STAS 424-80
DIN 1028





Profil	Dimensiuni (*mm*)								G	U
	h = b	t	r_1	r_2	$z_s = y_s$	v	u_1	u_2	(*kg/m*)	(m^2/m)
L 100x100x8	100	8	12	6	27.4	70.7	38.7	35.2	12.2	0.390
L 100x100x10	100	10	12	6	28.2	70.7	39.9	35.4	15.0	0.390
L 100x100x12	100	12	12	6	29	70.7	41.1	35.7	17.8	0.390
L 120x120x10	120	10	13	6.5	33.1	84.9	46.9	42.4	18.2	0.469
L 120x120x12	120	12	13	6.5	34	84.9	48	42.6	21.6	0.469
L 130x130x12	130	12	14	7	36.4	91.9	51.5	46	23.5	0.508
L 130x130x14	130	14	14	7	37.2	91.9	52.6	46.3	27.2	0.508
L 150x150x12	150	12	16	8	41.2	106.1	58.3	52.9	27.3	0.586
L 150x150x14	150	14	16	8	42.1	106.1	59.5	53.2	31.6	0.586
L 150x150x15	150	15	16	8	42.5	106.1	60.1	53.3	33.8	0.586
L 160x160x14	160	14	17	8.5	44.5	113.1	62.9	56.6	33.9	0.625
L 160x160x15	160	15	17	8.5	44.9	113.1	63.5	56.7	36.2	0.625
L 160x160x16	160	16	17	8.5	45.3	113.1	64.1	56.9	38.4	0.625
L 180x180x16	180	16	18	9	50.2	127.3	71	63.8	43.5	0.705
L 180x180x18	180	18	18	9	51	127.3	72.2	64.1	48.6	0.705
L 200x200x16	200	16	18	9	55.2	141.4	78.1	70.9	48.5	0.785
L 200x200x18	200	18	18	9	56	141.4	79.3	71.2	54.3	0.785
L 200x200x20	200	20	18	9	56.8	141.4	80.4	71.5	59.9	0.785

Profil **HE-A**	A (cm^2)	$I_y = I_z$ (cm^4)	$W_y = W_z$ (cm^4)	$i_y = i_z$ (*cm*)	I_u (cm^4)	i_u (*cm*)	I_v (cm^4)	W_v (cm^4)	i_v (*cm*)
L 100x100x8	15.51	144.8	19.94	3.06	230.2	3.85	59.47	15.5	1.96
L 100x100x10	19.20	176.7	24.62	3.04	280.7	3.83	72.65	18.4	1.95
L 100x100x12	22.71	206.7	29.12	3.02	328.0	3.80	85.42	21.0	1.94
L 120x120x10	23.18	312.9	36.03	3.67	497.6	4.63	128.3	27.5	2.35
L 120x120x12	27.54	367.7	42.73	3.65	584.3	4.61	151.0	31.6	2.34
L 130x130x12	30.00	472.2	50.44	3.97	750.6	5.00	193.7	37.7	2.54
L 130x130x14	34.70	540.0	58.20	3.94	857.0	4.97	223.0	42.4	2.53
L 150x150x12	34.83	736.9	67.75	4.60	1172	5.80	302.0	52.0	2.94
L 150x150x14	40.31	845.4	78.33	4.58	1344	5.77	346.9	58.3	2.93
L 150x150x15	43.02	898.1	83.52	4.57	1427	5.76	368.9	61.6	2.93
L 160x160x14	43.15	1034	89.50	4.89	1644	6.17	423.8	68.1	3.13
L 160x160x15	46.06	1099	95.5	4.88	1747	6.16	450.8	71.3	3.13
L 160x160x16	48.95	1163	101.4	4.87	1848	6.14	477.6	75.3	3.12
L 180x180x16	55.39	1682	129.7	5.51	2675	6.95	689.4	95.5	3.53
L 180x180x18	61.91	1866	144.7	5.49	2965	6.92	766.0	105	3.52
L 200x200x16	61.79	2341	161.7	6.16	3726	7.77	957	121	3.94
L 200x200x18	69.11	2600	180.6	6.13	4135	7.74	1064	133	3.92
L 200x200x20	76.35	2851	199.1	6.11	4532	7.70	1169	144	3.91

Anexă

Precizări:

h = b = lățimea aripii profilului cornier

t= grosimea aripii profilului

r_1 = raza de racordare a aripilor

r_2 = raza de rotunjire a aripilor la vârf

G (kg/m) = greutatea (masa) pe metru liniar

U (m^2/m) = suprafața laterală pe metru liniar

A = aria secțiunii transversale

A_v = aria de forfecare (când forța tăietoare acționează paralel cu axa z-z)

y_s = distanța de la axa z-z la fața exterioară a aripii profilului

z_s = distanța de la axa y-y la fața exterioară a aripii profilului ($z_s = y_s$ la corniere cu aripi egale)

v = distanțele de la axa u-u la extremitățile profilului

u_1; u_2 = distanțele de la axa v-v la extremitățile profilului

I_y; I_z = moment inerție raportat la axa de încovoiere y-y; respectiv z-z

i_y; i_z = rază de inerție (girație) raportată la axa y-y; respectiv z-z

W_y; W_z = modul de rezistență elastic în raport cu axa y-y; respectiv z-z

I_u = moment inerție raportat la axa de încovoiere u-u

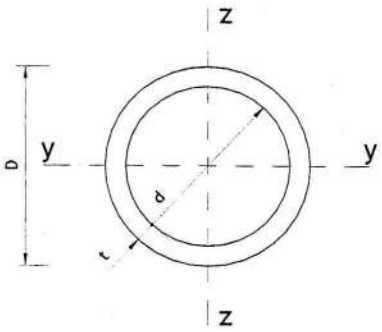
i_u = rază de inerție (girație) raportată la axa u-u

I_v = moment inerție raportat la axa de încovoiere v-v

W_v = modul de rezistență elastic în raport cu axa v-v

i_v = rază de inerție (girație) raportată la axa v-v

ȚEVI ROTUNDE
DIN OȚEL, FĂRĂ SUDURĂ,
LAMINATE LA CALD PENTRU CONSTRUCȚII



STAS 404/2-80
DIN 2448

Dimensiuni (*mm*)			G	A	$I_y = I_z$	$i_y = i_z$	$W_y = W_z$	I_r
D	t	d	(*kg/m*)	(cm^2)	(cm^4)	(*cm*)	(cm^3)	(cm^4)
25	2.5	20	1.39	1.77	1.13	0.80	0.91	2.26
25	3	19	1.63	2.07	1.28	0.79	1.02	2.56
28	3	22	1.85	2.36	1.87	0.89	1.33	3.73
28	3.5	21	2.11	2.69	2.06	0.88	1.47	4.13
32	3	26	2.14	2.73	2.90	1.03	1.82	5.81
32	3.5	25	2.46	3.13	3.23	1.02	2.02	6.46
32	4	24	2.76	3.52	3.52	1.00	2.20	7.04
38	3	32	2.59	3.30	5.09	1.24	2.68	10.18
38	3.5	31	2.98	3.79	5.70	1.23	3.00	11.40
38	4	30	3.35	4.27	6.26	1.21	3.29	12.52
38	4.5	29	3.72	4.74	6.76	1.20	3.56	13.53
38	5	28	4.07	5.18	7.22	1.18	3.80	14.44
42	3	36	2.88	3.68	7.03	1.38	3.35	14.06
42	3.5	35	3.32	4.23	7.91	1.37	3.77	15.82
42	4	34	3.75	4.78	8.71	1.35	4.15	17.43
42	4.5	33	4.16	5.30	9.45	1.34	4.50	18.91
42	5	32	4.56	5.81	10.13	1.32	4.82	20.25
45	3	39	3.11	3.96	8.77	1.49	3.90	17.55
45	3.5	38	3.58	4.56	9.89	1.47	4.40	19.79
45	4	37	4.04	5.15	10.93	1.46	4.86	21.86
45	4.5	36	4.49	5.73	11.88	1.44	5.28	23.77
45	5	35	4.93	6.28	12.76	1.43	5.67	25.53
45	6	33	5.77	7.35	14.31	1.40	6.36	28.62
51	3	45	3.55	4.52	13.08	1.70	5.13	26.16
51	3.5	44	4.10	5.22	14.81	1.68	5.81	29.62
51	4	43	4.63	5.91	16.43	1.67	6.44	32.85
51	4.5	42	5.16	6.57	17.93	1.65	7.03	35.87
51	5	41	5.67	7.23	19.34	1.64	7.58	38.68
51	6	39	6.66	8.48	21.85	1.61	8.57	43.71
51	8	35	8.48	10.81	25.84	1.55	10.13	51.68
51	10	31	10.11	12.88	28.68	1.49	11.25	57.35
54	3	48	3.77	4.81	15.68	1.81	5.81	31.36
54	3.5	47	4.36	5.55	17.79	1.79	6.59	35.57
54	4	46	4.93	6.28	19.76	1.77	7.32	39.52
54	4.5	45	5.49	7.00	21.61	1.76	8.00	43.22
54	5	44	6.04	7.70	23.34	1.74	8.64	46.68
54	6	42	7.10	9.05	26.46	1.71	9.80	52.93
54	8	38	9.07	11.56	31.50	1.65	11.67	63.01
54	10	34	10.85	13.82	35.18	1.60	13.03	70.36
54	12	30	12.42	15.83	37.76	1.54	13.99	75.53

Anexă

ȚEVI ROTUNDE

Dimensiuni (*mm*)			G	A	$I_y = I_z$	$i_y = i_z$	$W_y = W_z$	I_r
D	t	d	(*kg/m*)	(cm^2)	(cm^4)	(*cm*)	(cm^3)	(cm^4)
57	3.5	50	4.62	5.88	21.14	1.90	7.42	42.27
57	4	49	5.23	6.66	23.52	1.88	8.25	47.04
57	4.5	48	5.82	7.42	25.76	1.86	9.04	51.52
57	5	47	6.41	8.17	27.86	1.85	9.78	55.73
57	6	45	7.54	9.61	31.69	1.82	11.12	63.38
57	8	41	9.66	12.32	37.95	1.76	13.31	75.89
57	10	37	11.59	14.77	42.62	1.70	14.95	85.23
57	12	33	13.31	16.96	46.00	1.65	16.14	91.99
60	3.5	53	4.87	6.21	24.88	2.00	8.29	49.77
60	4	52	5.52	7.04	27.73	1.98	9.24	55.45
60	4.5	51	6.16	7.85	30.41	1.97	10.14	60.82
60	5	50	6.78	8.64	32.94	1.95	10.98	65.88
60	6	48	7.99	10.18	37.56	1.92	12.52	75.12
60	8	44	10.25	13.07	45.22	1.86	15.07	90.44
60	10	40	12.32	15.71	51.05	1.80	17.02	102.10
60	12	36	14.20	18.10	55.37	1.75	18.46	110.74
63.5	3.5	56.5	5.18	6.60	29.79	2.12	9.38	59.58
63.5	4	55.5	5.87	7.48	33.24	2.11	10.47	66.48
63.5	4.5	54.5	6.54	8.34	36.50	2.09	11.50	73.01
63.5	5	53.5	7.21	9.19	39.60	2.08	12.47	79.19
63.5	6	51.5	8.50	10.84	45.28	2.04	14.26	90.56
63.5	8	47.5	10.94	13.95	54.82	1.98	17.27	109.65
63.5	10	43.5	13.19	16.81	62.24	1.92	19.60	124.47
63.5	12	39.5	15.23	19.42	67.86	1.87	21.37	135.72
70	3.5	63	5.74	7.31	40.53	2.35	11.58	81.06
70	4	62	6.51	8.29	45.33	2.34	12.95	90.65
70	4.5	61	7.27	9.26	49.89	2.32	14.26	99.79
70	5	60	8.01	10.21	54.24	2.30	15.50	108.48
70	6	58	9.47	12.06	62.31	2.27	17.80	124.62
70	8	54	12.23	15.58	76.12	2.21	21.75	152.24
70	10	50	14.79	18.85	87.18	2.15	24.91	174.36
70	12	46	17.16	21.87	95.88	2.09	27.39	191.76
70	14	42	19.32	24.63	102.58	2.04	29.31	205.17
70	16	38	21.30	27.14	107.62	1.99	30.75	215.25
73	3.5	66	6.00	7.64	46.26	2.46	12.67	92.52
73	4	65	6.80	8.67	51.78	2.44	14.19	103.55
73	4.5	64	7.60	9.68	57.04	2.43	15.63	114.09
73	5	63	8.38	10.68	62.07	2.41	17.01	124.14
73	6	61	9.91	12.63	71.43	2.38	19.57	142.87
73	8	57	12.82	16.34	87.58	2.32	24.00	175.17
73	10	53	15.53	19.79	100.67	2.26	27.58	201.33
73	12	49	18.04	23.00	111.10	2.20	30.44	222.20
73	14	45	20.36	25.95	119.27	2.14	32.68	238.54
73	16	41	22.48	28.65	125.53	2.09	34.39	251.06
76	3.5	69	6.25	7.97	52.50	2.57	13.82	105.00
76	4	68	7.10	9.05	58.81	2.55	15.48	117.62
76	4.5	67	7.93	10.11	64.85	2.53	17.07	129.70
76	5	66	8.75	11.15	70.62	2.52	18.59	141.25
76	6	64	10.35	13.19	81.41	2.48	21.42	162.82
76	8	60	13.41	17.09	100.15	2.42	26.35	200.30
76	10	56	16.27	20.73	115.49	2.36	30.39	230.98
76	12	52	18.93	24.13	127.88	2.30	33.65	255.75
76	14	48	21.40	27.27	137.71	2.25	36.24	275.42
76	16	44	23.66	30.16	145.37	2.20	38.25	290.74

ȚEVI ROTUNDE

Dimensiuni (*mm*)			G	A	$I_y = I_z$	$i_y = i_z$	$W_y = W_z$	I_r
D	t	d	(*kg/m*)	(cm^2)	(cm^4)	(*cm*)	(cm^3)	(cm^4)
83	3.5	76	6.86	8.74	69.19	2.81	16.67	138.39
83	4	75	7.79	9.93	77.64	2.80	18.71	155.29
83	4.5	74	8.71	11.10	85.76	2.78	20.67	171.53
83	5	73	9.61	12.25	93.56	2.76	22.54	187.12
83	6	71	11.39	14.51	108.22	2.73	26.08	216.44
83	8	67	14.79	18.85	134.04	2.67	32.30	268.09
83	10	63	17.99	22.93	155.63	2.61	37.50	311.27
83	12	59	21.00	26.77	173.48	2.55	41.80	346.96
83	14	55	23.81	30.35	188.04	2.49	45.31	376.08
83	16	51	26.42	33.68	199.75	2.44	48.13	399.50
89	3.5	82	7.38	9.40	86.05	3.03	19.34	172.10
89	4	81	8.38	10.68	96.68	3.01	21.73	193.36
89	4.5	80	9.37	11.95	106.92	2.99	24.03	213.85
89	5	79	10.35	13.19	116.79	2.98	26.24	233.58
89	6	77	12.28	15.65	135.43	2.94	30.43	270.86
89	8	73	15.97	20.36	168.59	2.88	37.88	337.17
89	10	69	19.47	24.82	196.72	2.82	44.21	393.44
89	12	65	22.78	29.03	220.36	2.76	49.52	440.72
89	14	61	25.88	32.99	240.02	2.70	53.94	480.04
89	16	57	28.79	36.69	256.17	2.64	57.57	512.34
89	18	53	31.50	40.15	269.25	2.59	60.51	538.51
95	3.5	88	7.89	10.06	105.45	3.24	22.20	210.89
95	4	87	8.97	11.44	118.60	3.22	24.97	237.20
95	4.5	86	10.04	12.79	131.31	3.20	27.64	262.62
95	5	85	11.09	14.14	143.58	3.19	30.23	287.16
95	6	83	13.16	16.78	166.86	3.15	35.13	333.72
95	8	79	17.16	21.87	208.62	3.09	43.92	417.25
95	10	75	20.95	26.70	244.50	3.03	51.47	489.01
95	12	71	24.55	31.29	275.08	2.97	57.91	550.16
95	14	67	27.95	35.63	300.90	2.91	63.35	601.81
95	16	63	31.16	39.71	322.49	2.85	67.89	644.99
95	18	59	34.16	43.54	340.34	2.80	71.65	680.68
102	4	94	9.66	12.32	148.09	3.47	29.04	296.18
102	4.5	93	10.81	13.78	164.14	3.45	32.18	328.28
102	5	92	11.95	15.24	179.68	3.43	35.23	359.36
102	6	90	14.20	18.10	209.28	3.40	41.03	418.55
102	8	86	18.54	23.62	262.83	3.34	51.53	525.65
102	10	82	22.68	28.90	309.40	3.27	60.67	618.81
102	12	78	26.62	33.93	349.64	3.21	68.56	699.28
102	14	74	30.37	38.70	384.14	3.15	75.32	768.28
102	16	70	33.92	43.23	413.48	3.09	81.07	826.96
102	18	66	37.27	47.50	438.20	3.04	85.92	876.39
108	4	100	10.25	13.07	176.95	3.68	32.77	353.91
108	4.5	99	11.48	14.63	196.30	3.66	36.35	392.59
108	5	98	12.69	16.18	215.06	3.65	39.83	430.12
108	6	96	15.09	19.23	250.91	3.61	46.46	501.81
108	8	92	19.72	25.13	316.17	3.55	58.55	632.34
108	10	88	24.16	30.79	373.45	3.48	69.16	746.91
108	12	84	28.40	36.19	423.44	3.42	78.41	846.87
108	14	80	32.44	41.34	466.77	3.36	86.44	933.53
108	16	76	36.28	46.24	504.06	3.30	93.34	1008.12
108	18	72	39.93	50.89	535.91	3.24	99.24	1071.82

Anexă

ŢEVI ROTUNDE

Dimensiuni (*mm*)			G	A	$I_y = I_z$	$i_y = i_z$	$W_y = W_z$	I_r
D	t	d	(*kg/m*)	(cm^2)	(cm^4)	(*cm*)	(cm^3)	(cm^4)
114	4	106	10.85	13.82	209.35	3.89	36.73	418.70
114	4.5	105	12.15	15.48	232.41	3.87	40.77	464.81
114	5	104	13.43	17.12	254.81	3.86	44.70	509.63
114	6	102	15.97	20.36	297.73	3.82	52.23	595.46
114	8	98	20.90	26.64	376.30	3.76	66.02	752.60
114	10	94	25.63	32.67	445.82	3.69	78.21	891.63
114	12	90	30.17	38.45	507.00	3.63	88.95	1014.01
114	14	86	34.51	43.98	560.55	3.57	98.34	1121.11
114	16	82	38.65	49.26	607.13	3.51	106.51	1214.26
114	18	78	42.59	54.29	647.37	3.45	113.57	1294.74
114	20	74	46.34	59.06	681.87	3.40	119.63	1363.74
114	22	70	49.89	63.59	711.21	3.34	124.77	1422.42
121	4	113	11.54	14.70	251.87	4.14	41.63	503.75
121	4.5	112	12.92	16.47	279.83	4.12	46.25	559.66
121	5	111	14.30	18.22	307.05	4.11	50.75	614.10
121	6	109	17.01	21.68	359.32	4.07	59.39	718.65
121	8	105	22.28	28.40	455.57	4.01	75.30	911.14
121	10	101	27.36	34.87	541.43	3.94	89.49	1082.85
121	12	97	32.24	41.09	617.66	3.88	102.09	1235.33
121	14	93	36.92	47.06	685.03	3.82	113.23	1370.07
121	16	89	41.41	52.78	744.25	3.76	123.02	1488.49
121	18	85	45.70	58.25	795.99	3.70	131.57	1591.98
121	20	81	49.79	63.46	840.93	3.64	139.00	1681.85
121	22	77	53.69	68.42	879.67	3.59	145.40	1759.35
127	4	119	12.13	15.46	292.61	4.35	46.08	585.23
127	4.5	118	13.59	17.32	325.29	4.33	51.23	650.57
127	5	117	15.04	19.16	357.14	4.32	56.24	714.28
127	6	115	17.90	22.81	418.44	4.28	65.90	836.88
127	8	111	23.47	29.91	531.80	4.22	83.75	1063.60
127	10	107	28.84	36.76	633.55	4.15	99.77	1267.09
127	12	103	34.02	43.35	724.50	4.09	114.09	1449.00
127	14	99	38.99	49.70	805.45	4.03	126.84	1610.90
127	16	95	43.78	55.79	877.16	3.97	138.14	1754.32
127	18	91	48.36	61.64	940.37	3.91	148.09	1880.73
127	20	87	52.75	67.23	995.76	3.85	156.81	1991.52
127	22	83	56.94	72.57	1044.02	3.79	164.41	2088.04
133	4	125	12.72	16.21	337.53	4.56	50.76	675.05
133	4.5	124	14.25	18.17	375.42	4.55	56.45	750.83
133	5	123	15.78	20.11	412.40	4.53	62.02	824.81
133	6	121	18.78	23.94	483.72	4.50	72.74	967.43
133	8	117	24.65	31.42	616.11	4.43	92.65	1232.21
133	10	113	30.32	38.64	735.59	4.36	110.62	1471.18
133	12	109	35.79	45.62	843.04	4.30	126.77	1686.08
133	14	105	41.07	52.34	939.29	4.24	141.25	1878.58
133	16	101	46.14	58.81	1025.14	4.18	154.16	2050.29
133	18	97	51.02	65.03	1101.38	4.12	165.62	2202.76
133	20	93	55.71	71.00	1168.75	4.06	175.75	2337.50
133	22	89	60.19	76.72	1227.96	4.00	184.66	2455.93

ȚEVI ROTUNDE

Dimensiuni (*mm*)			G	A	$I_y = I_z$	$i_y = i_z$	$W_y = W_z$	I_r
D	t	d	(*kg/m*)	(cm^2)	(cm^4)	(*cm*)	(cm^3)	(cm^4)
140	5	130	16.64	21.21	483.76	4.78	69.11	967.51
140	6	128	19.82	25.26	568.06	4.74	81.15	1136.12
140	8	124	26.03	33.18	725.21	4.68	103.60	1450.42
140	10	120	32.04	40.84	867.86	4.61	123.98	1735.73
140	12	116	37.86	48.25	996.95	4.55	142.42	1993.89
140	14	112	43.48	55.42	1113.34	4.48	159.05	2226.68
140	16	108	48.90	62.33	1217.91	4.42	173.99	2435.83
140	18	104	54.13	68.99	1311.49	4.36	187.36	2622.98
140	20	100	59.16	75.40	1394.87	4.30	199.27	2789.73
140	22	96	63.99	81.56	1468.82	4.24	209.83	2937.64
146	5	136	17.38	22.15	551.10	4.99	75.49	1102.21
146	6	134	20.71	26.39	647.73	4.95	88.73	1295.45
146	8	130	27.21	34.68	828.41	4.89	113.48	1656.82
146	10	126	33.52	42.73	993.16	4.82	136.05	1986.32
146	12	122	39.64	50.52	1142.94	4.76	156.57	2285.89
146	14	118	45.55	58.06	1278.70	4.69	175.16	2557.39
146	16	114	51.27	65.35	1401.33	4.63	191.96	2802.65
146	18	110	56.79	72.38	1511.70	4.57	207.08	3023.41
146	20	106	62.12	79.17	1610.68	4.51	220.64	3221.35
146	22	102	67.24	85.70	1699.05	4.45	232.75	3398.11
152	6	140	21.59	27.52	734.52	5.17	96.65	1469.04
152	8	136	28.40	36.19	940.97	5.10	123.81	1881.94
152	10	132	35.00	44.61	1129.99	5.03	148.68	2259.97
152	12	128	41.41	52.78	1302.58	4.97	171.39	2605.16
152	14	124	47.62	60.70	1459.73	4.90	192.07	2919.46
152	16	120	53.64	68.36	1602.38	4.84	210.84	3204.77
152	18	116	59.45	75.78	1731.46	4.78	227.82	3462.93
152	20	112	65.07	82.94	1847.86	4.72	243.14	3695.72
152	22	108	70.50	89.85	1952.43	4.66	256.90	3904.86
163	6	151	23.22	29.59	913.15	5.55	112.04	1826.31
163	8	147	30.56	38.96	1173.01	5.49	143.93	2346.01
163	10	143	37.71	48.07	1412.49	5.42	173.31	2824.98
163	12	139	44.66	56.93	1632.70	5.36	200.33	3265.40
163	14	135	51.42	65.53	1834.70	5.29	225.12	3669.39
163	16	131	57.97	73.89	2019.51	5.23	247.79	4039.03
163	18	127	64.33	82.00	2188.15	5.17	268.49	4376.31
163	20	123	70.50	89.85	2341.59	5.11	287.31	4683.18
163	22	119	76.46	97.45	2480.77	5.05	304.39	4961.54
168	6	156	23.96	30.54	1003.12	5.73	119.42	2006.23
168	8	152	31.55	40.21	1290.01	5.66	153.57	2580.03
168	10	148	38.95	49.64	1555.13	5.60	185.13	3110.26
168	12	144	46.14	58.81	1799.60	5.53	214.24	3599.21
168	14	140	53.14	67.73	2024.53	5.47	241.02	4049.06
178	6	166	25.44	32.42	1200.40	6.08	134.88	2400.79
178	8	162	33.52	42.73	1546.88	6.02	173.81	3093.77
178	10	158	41.41	52.78	1868.63	5.95	209.96	3737.26
178	12	154	49.10	62.58	2166.85	5.88	243.47	4333.70
178	14	150	56.59	72.13	2442.72	5.82	274.46	4885.43
194	6	182	27.80	35.44	1567.21	6.65	161.57	3134.42
194	8	178	36.68	46.75	2025.31	6.58	208.79	4050.62
194	10	174	45.35	57.81	2453.55	6.51	252.94	4907.09
194	12	170	53.83	68.61	2853.25	6.45	294.15	5706.49
194	14	166	62.12	79.17	3225.71	6.38	332.55	6451.41

ȚEVI ROTUNDE

Dimensiuni (*mm*)			G	A	$I_y = I_z$	$i_y = i_z$	$W_y = W_z$	I_r
D	t	d	(*kg/m*)	(cm^2)	(cm^4)	(*cm*)	(cm^3)	(cm^4)
219	6	207	31.50	40.15	2278.74	7.53	208.10	4557.48
219	8	203	41.61	53.03	2955.43	7.47	269.90	5910.87
219	10	199	51.52	65.66	3593.29	7.40	328.15	7186.57
219	12	195	61.23	78.04	4193.81	7.33	383.00	8387.63
219	14	191	70.74	90.16	4758.50	7.26	434.57	9517.00
245	8	229	46.73	59.56	4186.87	8.38	341.79	8373.74
245	10	225	57.93	73.83	5105.63	8.32	416.79	10211.26
245	12	221	68.92	87.84	5976.67	8.25	487.89	11953.34
245	14	217	79.71	101.60	6801.68	8.18	555.24	13603.36
275	8	259	52.65	67.10	5985.13	9.44	435.28	11970.25
275	10	255	65.32	83.25	7318.39	9.38	532.25	14636.78
275	12	251	77.79	99.15	8590.36	9.31	624.75	17180.73
275	14	247	90.07	114.79	9802.96	9.24	712.94	19605.92
324	8	308	62.31	79.42	9919.49	11.18	612.31	19838.98
324	10	304	77.40	98.65	12169.96	11.11	751.23	24339.92
324	12	300	92.29	117.62	14333.32	11.04	884.77	28666.65
324	14	296	106.98	136.35	16411.86	10.97	1013.08	32823.72
356	10	336	85.29	108.70	16279.87	12.24	914.60	32559.73
356	12	332	101.75	129.68	19206.34	12.17	1079.01	38412.68
356	14	328	118.02	150.42	22028.93	12.10	1237.58	44057.86

Precizări:

D = diametrul exterior al țevii

t = grosimea pereților țevii

d = diametrul interior al țevii

G (*kg/m*) = greutatea (masa) pe metru liniar

A = aria secțiunii transversale

I_y; I_z = moment inerție raportat la axa de încovoiere y-y; respectiv z-z

i_y; i_z = rază de inerție (girație) raportată la axa y-y; respectiv z-z

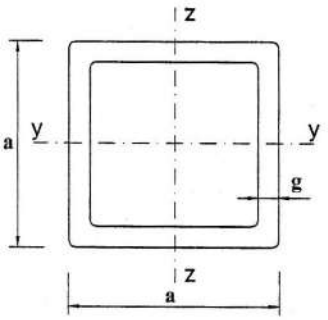
W_y; W_z = modul de rezistență elastic în raport cu axa y-y; respectiv z-z

I_r = moment de inerție la răsucire

ȚEVI TUBULARE PĂTRATE

FINISATE LA CALD PENTRU CONSTRUCȚII

EN 10210



Dimensiuni (*mm*)		G (*kg/m*)	A (cm^2)	$I_y = I_z$ (cm^4)	$i_y = i_z$ (*cm*)	$W_{el,y} = W_{el,z}$ (cm^3)	$W_{pl,y} = W_{pl,z}$ (cm^3)	I_r (cm^4)
a	g							
40	3	3.41	4.34	9.78	1.50	4.89	5.97	15.7
40	4	4.39	5.59	11.8	1.45	5.91	7.44	19.5
40	5	5.28	6.73	13.4	1.41	6.68	8.66	22.5
50	3	4.35	5.54	20.2	1.91	8.08	9.70	32.1
50	4	5.64	7.19	25.0	1.86	9.99	12.3	40.4
50	5	6.74	8.58	28.5	1.82	11.4	14.3	46.9
50	6	7.99	10.2	32.0	1.77	12.8	16.5	53.6
60	3	5.29	6.74	36.2	2.32	12.1	14.3	56.9
60	4	6.90	8.79	45.4	2.27	15.1	18.3	72.5
60	5	8.42	10.7	53.3	2.23	17.8	21.9	86.4
60	6	9.87	12.6	59.9	2.18	20.0	25.1	98.6
60	8	12.5	16.0	69.7	2.09	23.2	30.4	118
70	3	6.24	7.94	59.0	2.73	16.9	19.9	92.2
70	4	8.15	10.4	74.7	2.68	21.3	25.5	118
70	5	9.99	12.7	88.5	2.64	25.3	30.8	142
70	6	11.8	15.0	101	2.59	28.7	35.5	163
70	8	15.0	19.2	120	2.50	34.2	43.8	200
80	4	9.41	12.0	114	3.09	28.6	34.0	180
80	5	11.6	14.7	137	3.05	34.2	41.1	217
80	6	13.6	17.4	156	3.00	39.1	47.8	252
80	8	17.5	22.4	189	2.91	47.3	59.5	312
90	4	10.7	13.6	166	3.50	37.0	43.6	260
90	5	13.1	16.7	200	3.45	44.4	53.0	316
90	6	15.5	19.8	230	3.41	51.1	61.8	367
90	8	20.1	25.6	281	3.32	62.6	77.6	459
100	4	11.9	15.2	232	3.91	46.4	54.4	361
100	5	14.7	18.7	279	3.86	55.9	66.4	439
100	6	17.4	22.2	323	3.82	64.6	77.6	513
100	8	22.6	28.8	400	3.73	79.9	98.2	646
100	10	27.4	34.9	462	3.64	92.4	116	761
120	4	14.4	18.4	410	4.72	68.4	79.7	635
120	5	17.8	22.7	498	4.68	83.0	97.6	777
120	6	21.2	27.0	579	4.63	96.6	115	911
120	8	27.6	35.2	726	4.55	121	146	1160
120	10	33.7	42.9	852	4.46	142	175	1382
120	12	39.5	50.3	958	4.36	160	201	1578
140	5	21.0	26.7	807	5.50	115	135	1253
140	6	24.9	31.8	944	5.45	135	159	1475
140	8	32.6	41.6	1195	5.36	171	204	1892
140	10	40.0	50.9	1416	5.27	202	246	2272
140	12	47.0	59.9	1609	5.18	230	284	2616

Anexă

ŢEVI TUBULARE PĂTRATE

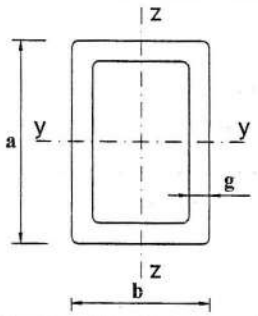
Dimensiuni (mm)		G (kg/m)	A (cm^2)	$I_y = I_z$ (cm^4)	$i_y = i_z$ (cm)	$W_{el.y} = W_{el.z}$ (cm^3)	$W_{pl.y} = W_{pl.z}$ (cm^3)	I_r (cm^4)
a	g							
150	5	22.6	28.7	1002	5.90	134	156	1550
150	6	26.8	34.2	1174	5.86	156	184	1828
150	8	35.1	44.8	1491	5.77	199	237	2351
150	10	43.1	54.9	1773	5.68	236	286	2832
150	12	50.8	64.7	2023	5.59	270	331	3272
160	5	24.1	30.7	1225	6.31	153	178	1892
160	6	28.7	36.6	1437	6.27	180	210	2233
160	8	37.6	48.0	1831	6.18	229	272	2880
160	10	46.3	58.9	2186	6.09	273	329	3478
160	12	54.6	69.5	2502	6.00	313	382	4028
160	16	70.2	89.4	3028	5.82	379	476	4988
180	5	27.3	34.7	1765	7.13	196	227	2718
180	6	32.5	41.4	2077	7.09	231	269	3215
180	8	42.7	54.4	2661	7.00	296	349	4162
180	10	52.5	66.9	3193	6.91	355	424	5048
180	12	62.1	79.1	3677	6.82	409	494	5873
180	16	80.2	102	4504	6.64	500	621	7343
200	5	30.4	38.7	2445	7.95	245	283	3756
200	6	36.2	46.2	2883	7.90	288	335	4449
200	8	47.7	60.8	3709	7.81	371	436	5778
200	10	58.8	74.9	4471	7.72	447	531	7031
200	12	69.6	88.7	5171	7.64	517	621	8208
200	16	90.3	115	6394	7.46	639	785	10340
250	5	38.3	48.7	4961	9.99	389	447	7430
250	6	45.7	58.2	5752	9.94	460	531	8825
250	8	60.3	76.8	7455	9.86	596	694	11525
250	10	74.5	94.9	9055	9.77	724	851	14106
250	12	88.5	113	10556	9.68	844	1000	16567
250	16	115	147	13267	9.50	1061	1280	21138
260	6	47.6	60.6	6491	10.35	499	576	9951
260	8	62.8	80.0	8423	10.26	648	753	13006
260	10	77.7	98.9	10242	10.18	788	924	15932
260	12	92.2	117	11954	10.09	920	1087	18729
260	16	120	153	15061	9.91	1159	1394	23942
300	6	55.1	70.2	10080	12.0	672	772	15407
300	8	72.8	92.8	13128	11.9	875	1013	20194
300	10	90.2	115	16026	11.8	1068	1246	24807
300	12	107	137	18777	11.7	1252	1470	29249
300	16	141	179	23850	11.5	1590	1895	37622
350	8	85.4	109	21129	13.9	1207	1392	32384
350	10	106	135	25884	13.9	1479	1715	39886
350	12	126	161	30435	13.8	1739	2030	47154
350	16	166	211	38942	13.6	2225	2630	60990
400	8	97.9	125	31857	16.0	1593	1830	48695
400	10	122	155	39128	15.9	1956	2260	60092
400	12	145	185	46130	15.8	2306	2679	71181
400	16	191	243	59344	15.6	2967	3484	92442

Anexă

ȚEVI TUBULARE DREPTUNGHIULARE

FINISATE LA CALD PENTRU CONSTRUCȚII

EN 10210



Dimensiuni (mm)			G	A	I_y	I_z	i_y	i_z	$W_{el,y}$	$W_{el,z}$	$W_{pl,y}$	$W_{pl,z}$	I_r
a	b	g	(kg/m)	(cm^2)	(cm^4)	(cm^4)	(cm)	(cm)	(cm^3)	(cm^3)	(cm^3)	(cm^3)	(cm^4)
50	30	3	3.41	4.34	13.6	5.94	1.77	1.17	5.43	3.96	6.88	4.76	13.5
		4	4.39	5.59	16.5	7.08	1.72	1.13	6.60	4.72	8.59	5.88	16.6
		5	5.28	6.73	18.7	7.89	1.67	1.08	7.49	5.26	10.0	6.80	19.0
60	40	3	4.35	5.54	26.5	13.9	2.18	1.58	8.82	6.95	10.9	8.19	29.2
		4	5.64	7.19	32.8	17.0	2.14	1.54	10.9	8.52	13.8	10.3	36.7
		5	6.85	8.73	38.1	19.5	2.09	1.50	12.7	9.77	16.4	12.2	43.0
		6	7.99	10.2	42.3	21.4	2.04	1.45	14.1	10.7	18.6	13.7	48.2
80	40	3	5.29	6.74	54.2	18.0	2.84	1.63	13.6	9.00	17.1	10.4	43.8
		4	6.90	8.79	68.2	22.2	2.79	1.59	17.1	11.1	21.8	13.2	55.2
		5	8.42	10.7	80.3	25.7	2.74	1.55	20.1	12.9	26.1	15.7	65.1
		6	9.87	12.6	90.5	28.5	2.68	1.50	22.6	14.2	30.0	17.8	73.4
		8	12.5	16.0	106	32.1	2.58	1.42	26.5	16.1	36.5	21.2	85.8
90	50	3	6.24	7.94	84.4	33.5	3.26	2.05	18.8	13.4	23.2	15.3	76.5
		4	8.15	10.39	107	41.9	3.21	2.01	23.8	16.8	29.8	19.6	97.5
		5	9.99	12.73	127	49.2	3.16	1.97	28.3	19.7	36.0	23.5	116
		6	11.8	14.97	145	55.4	3.11	1.92	32.2	22.1	41.6	27.0	133
		8	15.0	19.15	174	64.6	3.01	1.84	38.6	25.8	51.4	32.9	160
100	50	3	6.71	8.54	110	36.8	3.58	2.08	21.9	14.7	27.3	16.8	88.4
		4	8.78	11.19	140	46.2	3.53	2.03	27.9	18.5	35.2	21.5	113
		5	10.8	13.73	167	54.3	3.48	1.99	33.3	21.7	42.6	25.8	135
		6	12.7	16.17	190	61.2	3.43	1.95	38.1	24.5	49.4	29.7	154
		8	16.3	20.75	230	71.7	3.33	1.86	46.0	28.7	61.4	36.3	186
100	60	3	7.18	9.14	124	55.7	3.68	2.47	24.7	18.6	30.2	21.2	121
		4	9.41	12.0	158	70.5	3.63	2.43	31.6	23.5	39.1	27.3	156
		5	11.6	14.7	189	83.6	3.58	2.38	37.8	27.9	47.4	32.9	188
		6	13.6	17.4	217	95.0	3.53	2.34	43.4	31.7	55.1	38.1	216
		8	17.5	22.4	264	113	3.44	2.25	52.8	37.8	68.7	47.1	265
120	60	4	10.7	13.6	249	83.1	4.28	2.47	41.5	27.7	51.9	31.7	201
		5	13.1	16.7	299	98.8	4.23	2.43	49.9	32.9	63.1	38.4	242
		6	15.5	19.8	345	113	4.18	2.39	57.5	37.5	73.6	44.5	279
		8	20.1	25.6	425	135	4.08	2.30	70.8	45.0	92.7	55.4	344
120	80	4	11.9	15.2	303	161	4.46	3.25	50.4	40.2	61.2	46.1	330
		5	14.7	18.7	365	193	4.42	3.21	60.9	48.2	74.6	56.1	401
		6	17.4	22.2	423	222	4.37	3.17	70.6	55.6	87.3	65.5	468
		8	22.6	28.8	525	273	4.27	3.08	87.5	68.1	111	82.6	587
		10	27.4	34.9	609	313	4.18	2.99	101.6	78.1	131	97.3	688
150	100	4	15.1	19.2	607	324	5.63	4.11	81.0	64.8	97.4	73.6	660
		5	18.6	23.7	739	392	5.58	4.07	98.5	78.5	119	90.1	807
		6	22.1	28.2	862	456	5.53	4.02	115	91.2	141	106	946
		8	28.9	36.8	1087	569	5.44	3.94	145	114	180	135	1203
		10	35.3	44.9	1282	665	5.34	3.85	171	133	216	161	1432
		12	41.4	52.7	1450	745	5.25	3.76	193	149	249	185	1633
160	80	5	17.8	22.7	744	249	5.72	3.31	93.0	62.3	116	71.1	600
		6	21.2	27.0	868	288	5.67	3.27	108	72.0	136	83.3	701
		8	27.6	35.2	1091	356	5.57	3.18	136	89.0	175	106	883
		10	33.7	42.9	1284	411	5.47	3.10	161	103	209	125	1041
		12	39.5	50.3	1449	455	5.37	3.01	181	114	240	142	1175

Anexă

ȚEVI TUBULARE DREPTUNGHIULARE

Dimensiuni (mm)			G (kg/m)	A (cm^2)	I_y (cm^4)	I_z (cm^4)	i_y (cm)	i_z (cm)	$W_{el,y}$ (cm^3)	$W_{el,z}$ (cm^3)	$W_{pl,y}$ (cm^3)	$W_{pl,z}$ (cm^3)	I_r (cm^4)
a	b	g											
180	100	5	21.0	26.7	1153	460	6.57	4.15	128	92	157	104	1042
		6	24.9	31.8	1350	536	6.52	4.11	150	107	186	123	1224
		8	32.6	41.6	1713	671	6.42	4.02	190	134	239	157	1560
		10	40.0	50.9	2036	787	6.32	3.93	226	157	288	188	1862
		12	47.0	59.9	2320	886	6.22	3.85	258	177	333	216	2130
200	100	5	22.6	28.7	1495	505	7.21	4.19	149	101	185	114	1204
		6	26.8	34.2	1754	589	7.16	4.15	175	118	218	134	1414
		8	35.1	44.8	2234	739	7.06	4.06	223	148	282	172	1804
		10	43.1	54.9	2664	869	6.96	3.98	266	174	341	206	2156
		12	50.8	64.7	3047	979	6.86	3.89	305	196	395	237	2469
200	120	5	24.1	30.7	1685	762	7.40	4.98	168	127	205	144	1648
		6	28.7	36.6	1980	892	7.36	4.94	198	149	242	169	1942
		8	37.6	48.0	2529	1128	7.26	4.85	253	188	313	218	2495
		10	46.3	58.9	3026	1337	7.17	4.76	303	223	379	263	3001
		12	54.6	69.5	3472	1520	7.07	4.68	347	253	440	305	3461
		16	70.2	89.4	4221	1813	6.87	4.50	422	302	550	377	4247
200	150	5	26.5	33.7	1970	1265	7.64	6.12	197	169	234	192	2386
		6	31.5	40.2	2318	1485	7.60	6.08	232	198	277	227	2820
		8	41.4	52.8	2971	1894	7.50	5.99	297	253	359	294	3643
		10	51.0	64.9	3568	2264	7.41	5.91	357	302	436	356	4409
		12	60.2	76.7	4109	2596	7.32	5.82	411	346	508	414	5119
		16	77.7	99.0	5036	3152	7.13	5.64	504	420	638	518	6370
250	100	5	26.5	33.7	2610	618	8.80	4.28	209	124	263	138	1617
		6	31.5	40.2	3072	721	8.74	4.24	246	144	311	162	1901
		8	41.4	52.8	3940	909	8.64	4.15	315	182	404	209	2430
		10	51.0	64.9	4733	1072	8.54	4.06	379	214	491	251	2908
		12	60.2	76.7	5453	1213	8.43	3.98	436	243	572	290	3336
		16	77.7	99.0	6686	1433	8.22	3.80	535	287	719	358	4050
250	150	5	30.4	38.7	3360	1527	9.31	6.28	269	204	324	228	3278
		6	36.2	46.2	3965	1796	9.27	6.24	317	239	385	270	3877
		8	47.7	60.8	5111	2298	9.17	6.15	409	306	501	350	5021
		10	58.8	74.9	6174	2755	9.08	6.06	494	367	611	426	6090
		12	69.6	88.7	7154	3168	8.98	5.98	572	422	715	497	7088
		16	90.3	115	8879	3873	8.79	5.80	710	516	906	625	8868
300	100	5	30.4	38.7	4146	731	10.3	4.34	276	146	354	161	2040
		6	36.2	46.2	4893	854	10.3	4.30	326	171	419	190	2399
		8	47.7	60.8	6305	1078	10.2	4.21	420	216	546	245	3069
		10	58.8	74.9	7613	1275	10.1	4.13	508	255	666	296	3676
		12	69.6	88.7	8818	1447	9.97	4.04	588	289	779	343	4223
		16	90.3	115	10931	1719	9.75	3.87	729	344	986	425	5138
300	200	5	38.3	48.7	6322	3396	11.4	8.35	421	340	501	380	6824
		6	45.7	58.2	7486	4013	11.3	8.31	499	401	596	451	8100
		8	60.3	76.8	9717	5184	11.3	8.22	648	518	779	589	10562
		10	74.5	94.9	11819	6278	11.2	8.13	788	628	956	721	12908
		12	88.5	113	13797	7294	11.1	8.05	920	729	1124	847	15137
		16	115	147	17390	9109	10.9	7.87	1159	911	1441	1080	19252
300	250	6	50.4	64.2	8783	6645	11.7	10.2	586	532	684	604	11609
		8	66.5	84.8	11422	8627	11.6	10.1	761	690	896	791	15187
		10	82.4	105	13923	10496	11.5	10.0	928	840	1101	971	18620
		12	97.9	125	16287	12256	11.4	9.91	1086	981	1297	1143	21910
		16	128	163	20620	15460	11.2	9.74	1375	1237	1668	1467	28064
350	150	6	45.7	58.2	9066	2418	12.5	6.45	518	322	645	357	6110
		8	60.3	76.8	11770	3105	12.4	6.36	673	414	844	464	7926
		10	74.5	94.9	14320	3737	12.3	6.27	818	498	1035	566	9633
		12	88.5	113	16720	4314	12.2	6.19	955	575	1218	663	11235
		16	115	147	21079	5317	12.0	6.01	1205	709	1561	840	14124

Anexă

ȚEVI TUBULARE DREPTUNGHIULARE

Dimensiuni (*mm*)			G (*kg/m*)	A (cm^2)	I_y (cm^4)	I_z (cm^4)	i_y (*cm*)	i_z (*cm*)	$W_{el,y}$ (cm^3)	$W_{el,z}$ (cm^3)	$W_{pl,y}$ (cm^3)	$W_{pl,z}$ (cm^3)	I_r (cm^4)
a	b	g											
350	250	6	55.1	70.2	12616	7538	13.4	10.4	721	603	852	677	14529
		8	72.8	92.8	16449	9798	13.3	10.3	940	784	1118	888	19027
		10	90.2	115	20102	11937	13.2	10.2	1149	955	1375	1091	23354
		12	107	137	23577	13957	13.1	10.1	1347	1117	1624	1286	27513
		16	141	179	30011	17654	12.9	9.93	1715	1412	2095	1655	35325
400	120	6	47.6	60.6	11272	1672	13.6	5.25	564	279	727	306	4824
		8	62.8	80.0	14644	2134	13.5	5.17	732	356	952	397	6218
		10	77.7	98.9	17829	2551	13.4	5.08	891	425	1168	483	7509
		12	92.2	117	20830	2926	13.3	4.99	1042	488	1375	564	8698
		16	120	153	26295	3558	13.1	4.82	1315	593	1764	709	10783
400	150	6	50.4	64.2	12669	2730	14.1	6.52	633	364	798	400	7262
		8	66.5	84.8	16488	3509	13.9	6.43	824	468	1046	521	9424
		10	82.4	105	20111	4227	13.8	6.35	1006	564	1285	636	11460
		12	97.9	125	23541	4887	13.7	6.26	1177	652	1515	745	13372
		16	128	163	29836	6038	13.5	6.09	1492	805	1948	947	16829
400	200	6	55.1	70.2	14998	5142	14.6	8.56	750	514	917	568	12049
		8	72.8	92.8	19562	6660	14.5	8.47	978	666	1203	743	15735
		10	90.2	115	23914	8084	14.4	8.39	1196	808	1480	911	19259
		12	107	137	28059	9418	14.3	8.30	1403	942	1748	1072	22622
		16	141	179	35738	11824	14.1	8.13	1787	1182	2256	1374	28871
400	300	8	85.4	109	25709	16540	15.4	12.3	1285	1103	1517	1247	31014
		10	106	135	31521	20233	15.3	12.2	1576	1349	1870	1536	38180
		12	126	161	37094	23756	15.2	12.2	1855	1584	2213	1816	45113
		16	166	211	47541	30309	15.0	12.0	2377	2021	2870	2349	58286
450	250	8	85.4	109	30082	12142	16.6	10.6	1337	971	1622	1081	27083
		10	106	135	36895	14819	16.5	10.5	1640	1185	2000	1331	33284
		12	126	161	43434	17359	16.4	10.4	1930	1389	2367	1572	39260
		16	166	211	55705	22041	16.2	10.2	2476	1763	3070	2029	50545
500	200	8	85.4	109	34045	8135	17.7	8.65	1362	814	1707	896	21124
		10	106	135	41755	9891	17.6	8.56	1670	989	2105	1101	25872
		12	126	161	49155	11541	17.5	8.47	1966	1154	2491	1298	30411
		16	166	211	63036	14539	17.3	8.30	2521	1454	3231	1669	38872
500	300	8	98	125	43728	19951	18.7	12.6	1749	1330	2100	1480	42563
		10	122	155	53762	24439	18.6	12.6	2150	1629	2595	1826	54450
		12	145	185	63446	28736	18.5	12.5	2538	1916	3077	2161	62039
		16	191	243	81783	36768	18.3	12.3	3271	2451	4005	2804	80329

Precizări:

G (*kg/m*) = greutatea (masa) pe metru liniar

A = aria secțiunii transversale

I_y; I_z = moment inerție raportat la axa de încovoiere y-y; respectiv z-z

i_y; i_z = rază de inerție (giratie) raportată la axa y-y; respectiv z-z

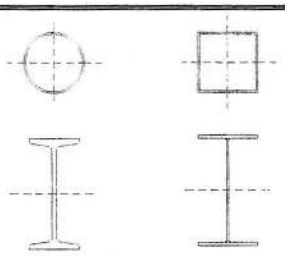
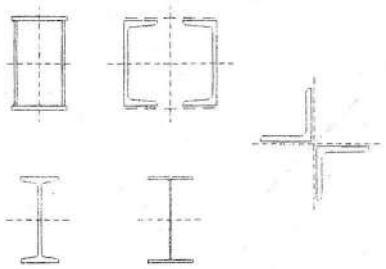
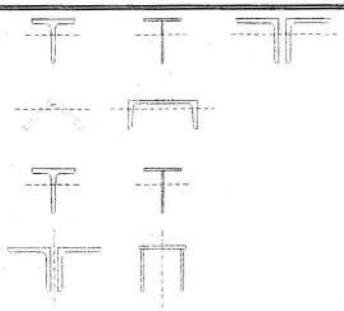
$W_{el,y}$; $W_{el,z}$ = modul de rezistență elastic în raport cu axa y-y; respectiv z-z

$W_{pl,y}$; $W_{pl,z}$ = modul de rezistență plastic în raport cu axa y-y; respectiv z-z

I_r = moment de inerție la răsucire simplă (răsucire cu deplanare liberă)

Anexă

ÎNCADRAREA ÎN CURBELE DE FLAMBAJ:
(conform STAS 10108/0-78)

Nr. crt.	Tipul secțiunii		Curba de flambaj (funcție de R_c)
1	a.) Tuburi laminate la cald, fără sudură b.) Profile dublu T laminate sau sudate din tablă oxicupată care flambează în plan paralel cu inima		***A*** - R_c
2	a.) Chesoane sudate, profile solidarizate b.) Profile dublu T laminate sau sudate din tablă oxicupată care flambează în plan paralel cu tălpile		***B*** - R_c
3	Profile deschise cu o axă de simetrie a.) Flambaj în plan paralelel cu axa de simetrie		***C*** - R_c
	b.) Flambaj în plan perpendicular pe axa de simetrie (*)		***B*** - R_c

Observație (*):

Pentru flambaj prin încovoiere răsucire încadrarea se face pe curba *B*; pentru flambaj prin încovoiere încadrarea se face pe curba *C*.

Anexă

COEFICIENȚI DE FLAMBAJ PENTRU **OL37**:
($R_c = 240 N/mm^2$)

λ	φ			λ	φ			λ	φ			λ	φ		
	A	B	C		A	B	C		A	B	C		A	B	C
1	1.000	1.000	1.000	51	0.918	0.878	0.815	101	0.609	0.546	0.491	151	0.331	0.299	0.284
2	1.000	1.000	1.000	52	0.914	0.873	0.808	102	0.602	0.539	0.485	152	0.327	0.296	0.281
3	1.000	1.000	1.000	53	0.910	0.868	0.802	103	0.594	0.532	0.480	153	0.324	0.293	0.278
4	1.000	0.999	0.999	54	0.906	0.863	0.795	104	0.587	0.526	0.475	154	0.320	0.289	0.275
5	0.999	0.999	0.998	55	0.902	0.857	0.789	105	0.580	0.520	0.469	155	0.316	0.286	0.272
6	0.999	0.998	0.998	56	0.898	0.852	0.782	106	0.573	0.513	0.464	156	0.313	0.283	0.270
7	0.999	0.998	0.997	57	0.893	0.846	0.775	107	0.566	0.507	0.459	157	0.309	0.280	0.267
8	0.998	0.997	0.995	58	0.889	0.840	0.769	108	0.559	0.501	0.454	158	0.306	0.277	0.264
9	0.998	0.997	0.994	59	0.884	0.834	0.762	109	0.552	0.495	0.448	159	0.303	0.274	0.261
10	0.997	0.996	0.993	60	0.879	0.829	0.755	110	0.546	0.488	0.443	160	0.299	0.271	0.259
11	0.997	0.995	0.991	61	0.875	0.822	0.748	111	0.539	0.482	0.438	161	0.296	0.268	0.256
12	0.996	0.994	0.989	62	0.870	0.816	0.742	112	0.532	0.477	0.433	162	0.293	0.265	0.254
13	0.995	0.993	0.987	63	0.865	0.810	0.735	113	0.526	0.471	0.429	163	0.289	0.262	0.251
14	0.995	0.992	0.985	64	0.859	0.804	0.728	114	0.519	0.465	0.424	164	0.286	0.259	0.249
15	0.994	0.990	0.983	65	0.854	0.797	0.721	115	0.513	0.459	0.419	165	0.283	0.257	0.246
16	0.993	0.989	0.980	66	0.849	0.791	0.714	116	0.507	0.454	0.414	166	0.280	0.254	0.244
17	0.992	0.987	0.978	67	0.843	0.784	0.707	117	0.500	0.448	0.410	167	0.277	0.251	0.242
18	0.991	0.986	0.975	68	0.838	0.778	0.700	118	0.494	0.443	0.405	168	0.274	0.249	0.239
19	0.990	0.984	0.972	69	0.832	0.771	0.694	119	0.488	0.437	0.401	169	0.271	0.246	0.237
20	0.989	0.983	0.969	70	0.826	0.764	0.687	120	0.482	0.432	0.396	170	0.268	0.244	0.235
21	0.988	0.981	0.966	71	0.820	0.757	0.680	121	0.476	0.427	0.392	171	0.266	0.241	0.232
22	0.987	0.979	0.963	72	0.814	0.750	0.673	122	0.470	0.421	0.387	172	0.263	0.239	0.230
23	0.985	0.977	0.959	73	0.808	0.743	0.666	123	0.464	0.416	0.383	173	0.260	0.236	0.228
24	0.984	0.975	0.956	74	0.801	0.736	0.660	124	0.458	0.411	0.379	174	0.257	0.234	0.226
25	0.982	0.973	0.952	75	0.795	0.729	0.653	125	0.453	0.406	0.375	175	0.255	0.231	0.224
26	0.981	0.970	0.948	76	0.788	0.722	0.646	126	0.447	0.401	0.371	176	0.252	0.229	0.222
27	0.979	0.968	0.944	77	0.782	0.715	0.639	127	0.442	0.396	0.367	177	0.249	0.227	0.219
28	0.978	0.965	0.940	78	0.775	0.708	0.633	128	0.436	0.392	0.363	178	0.247	0.224	0.217
29	0.976	0.963	0.936	79	0.768	0.701	0.626	129	0.431	0.387	0.359	179	0.244	0.222	0.215
30	0.974	0.960	0.931	80	0.762	0.694	0.619	130	0.426	0.382	0.355	180	0.242	0.220	0.213
31	0.972	0.957	0.927	81	0.755	0.686	0.613	131	0.420	0.378	0.351	181	0.239	0.218	0.211
32	0.970	0.954	0.922	82	0.748	0.679	0.606	132	0.415	0.373	0.347	182	0.237	0.216	0.209
33	0.968	0.951	0.917	83	0.741	0.672	0.600	133	0.410	0.369	0.343	183	0.235	0.213	0.207
34	0.966	0.948	0.913	84	0.733	0.665	0.593	134	0.405	0.364	0.340	184	0.232	0.211	0.206
35	0.964	0.945	0.908	85	0.726	0.657	0.587	135	0.400	0.360	0.336	185	0.230	0.209	0.204
36	0.962	0.942	0.902	86	0.719	0.650	0.580	136	0.396	0.356	0.332	186	0.228	0.207	0.202
37	0.960	0.938	0.897	87	0.712	0.643	0.574	137	0.391	0.352	0.329	187	0.225	0.205	0.200
38	0.957	0.935	0.892	88	0.704	0.636	0.568	138	0.386	0.348	0.325	188	0.223	0.203	0.198
39	0.955	0.931	0.887	89	0.697	0.629	0.562	139	0.381	0.343	0.322	189	0.221	0.201	0.196
40	0.952	0.927	0.881	90	0.690	0.622	0.555	140	0.377	0.339	0.318	190	0.219	0.199	0.195
41	0.950	0.923	0.875	91	0.682	0.614	0.549	141	0.372	0.336	0.315	191	0.217	0.197	0.193
42	0.947	0.919	0.870	92	0.675	0.607	0.543	142	0.368	0.332	0.312	192	0.215	0.196	0.191
43	0.944	0.915	0.864	93	0.668	0.600	0.537	143	0.364	0.328	0.308	193	0.213	0.194	0.189
44	0.941	0.911	0.858	94	0.660	0.593	0.531	144	0.359	0.324	0.305	194	0.210	0.192	0.188
45	0.938	0.907	0.852	95	0.653	0.586	0.525	145	0.355	0.320	0.302	195	0.208	0.190	0.186
46	0.935	0.902	0.846	96	0.645	0.579	0.519	146	0.351	0.317	0.299	196	0.206	0.188	0.184
47	0.932	0.898	0.840	97	0.638	0.573	0.514	147	0.347	0.313	0.296	197	0.205	0.187	0.183
48	0.928	0.893	0.834	98	0.631	0.566	0.508	148	0.343	0.310	0.293	198	0.203	0.185	0.181
49	0.925	0.888	0.827	99	0.623	0.559	0.502	149	0.339	0.306	0.290	199	0.201	0.183	0.180
50	0.921	0.883	0.821	100	0.616	0.552	0.496	150	0.335	0.303	0.287	200	0.199	0.181	0.178

Anexă

COEFICIENȚI DE FLAMBAJ PENTRU **OL52**:
($R_c = 240N/mm^2$)

λ	φ			λ	φ			λ	φ			λ	φ		
	A	B	C		A	B	C		A	B	C		A	B	C
1	1.000	1.000	1.000	51	0.867	0.814	0.738	101	0.460	0.413	0.380	151	0.230	0.209	0.204
2	1.000	1.000	0.999	52	0.861	0.806	0.729	102	0.453	0.407	0.375	152	0.227	0.207	0.201
3	1.000	1.000	0.999	53	0.855	0.798	0.721	103	0.446	0.401	0.370	153	0.225	0.204	0.199
4	0.999	0.999	0.998	54	0.848	0.790	0.713	104	0.440	0.395	0.365	154	0.222	0.202	0.197
5	0.999	0.999	0.997	55	0.841	0.782	0.704	105	0.433	0.389	0.360	155	0.219	0.200	0.195
6	0.999	0.998	0.995	56	0.834	0.774	0.696	106	0.427	0.383	0.355	156	0.217	0.197	0.193
7	0.998	0.997	0.994	57	0.827	0.766	0.687	107	0.420	0.377	0.350	157	0.214	0.195	0.191
8	0.997	0.996	0.992	58	0.820	0.757	0.679	108	0.414	0.372	0.346	158	0.212	0.193	0.188
9	0.997	0.995	0.990	59	0.812	0.749	0.671	109	0.408	0.367	0.341	159	0.209	0.191	0.186
10	0.996	0.994	0.988	60	0.805	0.740	0.662	110	0.402	0.361	0.337	160	0.207	0.188	0.184
11	0.995	0.992	0.985	61	0.797	0.732	0.654	111	0.396	0.356	0.332	161	0.204	0.186	0.182
12	0.994	0.991	0.983	62	0.789	0.723	0.646	112	0.390	0.351	0.328	162	0.202	0.184	0.180
13	0.993	0.989	0.980	63	0.781	0.714	0.638	113	0.384	0.346	0.324	163	0.200	0.182	0.179
14	0.992	0.987	0.977	64	0.773	0.705	0.630	114	0.379	0.341	0.319	164	0.197	0.180	0.177
15	0.991	0.985	0.973	65	0.764	0.697	0.621	115	0.373	0.336	0.315	165	0.195	0.178	0.175
16	0.989	0.983	0.970	66	0.756	0.688	0.613	116	0.368	0.331	0.311	166	0.193	0.176	0.173
17	0.988	0.981	0.966	67	0.747	0.679	0.605	117	0.362	0.327	0.307	167	0.191	0.174	0.171
18	0.986	0.979	0.962	68	0.739	0.670	0.597	118	0.357	0.322	0.303	168	0.189	0.172	0.169
19	0.985	0.976	0.957	69	0.730	0.661	0.589	119	0.352	0.318	0.299	169	0.186	0.170	0.168
20	0.983	0.974	0.953	70	0.721	0.652	0.582	120	0.347	0.313	0.296	170	0.184	0.168	0.166
21	0.981	0.971	0.948	71	0.712	0.643	0.574	121	0.342	0.309	0.292	171	0.182	0.167	0.164
22	0.979	0.968	0.944	72	0.703	0.635	0.566	122	0.337	0.305	0.288	172	0.180	0.165	0.163
23	0.977	0.965	0.938	73	0.694	0.626	0.559	123	0.333	0.300	0.285	173	0.178	0.163	0.161
24	0.975	0.962	0.933	74	0.685	0.617	0.551	124	0.328	0.296	0.281	174	0.176	0.161	0.159
25	0.973	0.958	0.928	75	0.676	0.608	0.544	125	0.323	0.292	0.277	175	0.175	0.160	0.158
26	0.971	0.955	0.922	76	0.667	0.600	0.536	126	0.319	0.288	0.274	176	0.173	0.158	0.156
27	0.968	0.951	0.916	77	0.658	0.591	0.529	127	0.315	0.284	0.271	177	0.171	0.156	0.154
28	0.966	0.947	0.910	78	0.649	0.583	0.522	128	0.310	0.281	0.267	178	0.169	0.155	0.153
29	0.963	0.943	0.904	79	0.640	0.574	0.515	129	0.306	0.277	0.264	179	0.167	0.153	0.151
30	0.960	0.939	0.898	80	0.631	0.566	0.507	130	0.302	0.273	0.261	180	0.165	0.151	0.150
31	0.957	0.935	0.891	81	0.622	0.558	0.501	131	0.298	0.270	0.258	181	0.164	0.150	0.148
32	0.954	0.930	0.885	82	0.613	0.549	0.494	132	0.294	0.266	0.254	182	0.162	0.148	0.147
33	0.951	0.926	0.878	83	0.604	0.541	0.487	133	0.290	0.263	0.251	183	0.160	0.147	0.146
34	0.948	0.921	0.871	84	0.595	0.533	0.480	134	0.286	0.259	0.248	184	0.159	0.145	0.144
35	0.944	0.916	0.864	85	0.587	0.525	0.474	135	0.282	0.256	0.245	185	0.157	0.144	0.143
36	0.941	0.911	0.857	86	0.578	0.517	0.467	136	0.278	0.252	0.242	186	0.155	0.142	0.141
37	0.937	0.905	0.849	87	0.569	0.510	0.461	137	0.275	0.249	0.240	187	0.154	0.141	0.140
38	0.933	0.900	0.842	88	0.561	0.502	0.454	138	0.271	0.246	0.237	188	0.152	0.139	0.139
39	0.929	0.894	0.834	89	0.553	0.495	0.448	139	0.268	0.243	0.234	189	0.151	0.138	0.137
40	0.925	0.888	0.827	90	0.544	0.487	0.442	140	0.264	0.240	0.231	190	0.149	0.137	0.136
41	0.920	0.882	0.819	91	0.536	0.480	0.436	141	0.261	0.237	0.228	191	0.148	0.135	0.135
42	0.916	0.876	0.811	92	0.528	0.473	0.430	142	0.258	0.234	0.226	192	0.146	0.134	0.133
43	0.911	0.870	0.803	93	0.520	0.466	0.424	143	0.254	0.231	0.223	193	0.145	0.133	0.132
44	0.906	0.863	0.795	94	0.512	0.459	0.418	144	0.251	0.228	0.221	194	0.143	0.131	0.131
45	0.901	0.857	0.787	95	0.504	0.452	0.412	145	0.248	0.225	0.218	195	0.142	0.130	0.130
46	0.896	0.850	0.779	96	0.497	0.445	0.407	146	0.245	0.223	0.216	196	0.141	0.129	0.129
47	0.891	0.843	0.771	97	0.489	0.438	0.401	147	0.242	0.220	0.213	197	0.139	0.128	0.127
48	0.885	0.836	0.763	98	0.482	0.432	0.396	148	0.239	0.217	0.211	198	0.138	0.126	0.126
49	0.879	0.829	0.754	99	0.474	0.425	0.390	149	0.236	0.215	0.208	199	0.137	0.125	0.125
50	0.874	0.821	0.746	100	0.467	0.419	0.385	150	0.233	0.212	0.206	200	0.135	0.124	0.124

FORMULE DE CALCUL COEFICIENȚI DE FLAMBAJ PENTRU OL37:

Pentru curba ***A*** de flambaj:

$$\varphi = \left(0.6465 + \frac{5431}{\lambda^2}\right) - \sqrt{\left(0.6465 + \frac{5431}{\lambda^2}\right)^2 - \frac{10862}{\lambda^2}};$$

Pentru curba ***B*** de flambaj:

$$\varphi = \left(0.7506 + \frac{5851}{\lambda^2}\right) - \sqrt{\left(0.7506 + \frac{5851}{\lambda^2}\right)^2 - \frac{11702}{\lambda^2}};$$

Pentru curba ***C*** de flambaj:

$$\varphi = \left(1.411 + \frac{11453}{\lambda^2}\right) - \sqrt{\left(1.411 + \frac{11453}{\lambda^2}\right)^2 - \frac{22917}{\lambda^2}};$$

FORMULE DE CALCUL COEFICIENȚI DE FLAMBAJ PENTRU OL52:

Pentru curba ***A*** de flambaj:

$$\varphi = \left(0.6465 + \frac{3621}{\lambda^2}\right) - \sqrt{\left(0.6465 + \frac{3621}{\lambda^2}\right)^2 - \frac{7242}{\lambda^2}};$$

Pentru curba ***B*** de flambaj:

$$\varphi = \left(0.7506 + \frac{3900}{\lambda^2}\right) - \sqrt{\left(0.7506 + \frac{3900}{\lambda^2}\right)^2 - \frac{7801}{\lambda^2}};$$

Pentru curba ***C*** de flambaj:

$$\varphi = \left(1.411 + \frac{7636}{\lambda^2}\right) - \sqrt{\left(1.411 + \frac{7636}{\lambda^2}\right)^2 - \frac{15267}{\lambda^2}};$$

Anexă

VALORI MAXIM ADMISE PENTRU SĂGEȚI (STAS 10108/0 –78):

Săgeți limită recomandate		
Nr. crt.	Denumirea elementului strucural	f_{max}
1	Grinzile căilor de rulare cu inima plină sau cu zăbrele pentru: a) poduri rulante manuale	l / 500
	b) poduri rulante electrice cu capacitatea de ridicare până la 50.000 kgf, inclusiv	l / 600
	c) poduri rulante electrice cu capacitatea de ridicare peste 50.000 kgf	l / 750
2	Căile de rulare ale grinzilor rulante	l / 500
3	Căile de rulare pentru cărucioare rulante	l / 400
4	Grinzile platformelor clădirilor industriale: a) când nu susțin linii ferate sau utilaje care produc vibrații: - grinzi principale	l / 400
	- celelalte grinzi	l / 250
	b) când susțin căi ferate înguste	l / 400
	c) când susțin căi ferate cu ecartament normal	l / 600
5	Grinzile planșeelor dintre etaje: a) grinzi principale	l / 350
	b) celelalte grinzi	l / 250
6	Grinzile acoperișului și planșeelor podurilor clădirilor: a) ferme, grinzi principale și grinzi care susțin cadre de luminator	l / 250
	b) pane și căpriori	l / 200
7	Elementele șarpantei pereților și luminatoarelor: a) bare verticale și rigle	l / 200
	b) șprosurile ferestrelor (în plan vertical și orizontal)	l / 180
	c) stâlpii pereților, când materialul de închidere este elastic (tablă, azbociment, materiale plastice)	l / 200
8	Panouri metalice de învelitoare: a) în zone fără aglomerare de zăpadă	l / 150
	b) în zone cu aglomerări de zăpadă	l / 100
9	Estacade de conducte: a) la grinzi principale	l / 350
	b) la grinzi secundare	l / 300

l = deschiderea grinzii

- STAS 10108/0-78 "Calculul elementelor din oţel", 1978.
- "Hale industriale cu structură metalică – Indicaţii generale de proiectare"- Dragoş Georgescu, Helmut Köber, Lucian Negrei, 1978.
- "Construcţii metalice – Îndrumări şi exemple de calcul" – Constantin Dalban, Ion Diacu, Gheorghe Manea, Alexandru Varga, Lucian Negrei, Şerban Dima, 1981.
- "Construcţii metalice – Calculul prin metoda stărilor limită" – Petre Siminea, Lucian Negrei, 1982.
- "Construcţii metalice" – Constantin Dalban, Niculae Juncan, Constantin Şerbescu, Alexandru Varga, Şerban Dima, 1983.
- STAS 10101/20-90 "Încărcări date de vânt", 1990.
- STAS 10101/21-92 "Încărcări date de zăpadă", 1992.
- "Normativ pentru proiectarea antseismică a construcţiilor de locuinţe, social-culturale, agrozootehnice şi industriale – indiactiv P100-92", 1992.
- Eurocode 3 "Tragwerke aus Stahl", 1993.
- "Construcţii cu structură metalică" – Constantin Dalban, Eugen Chesaru, Şerban Dima, Constantin Şerbescu, 1997.